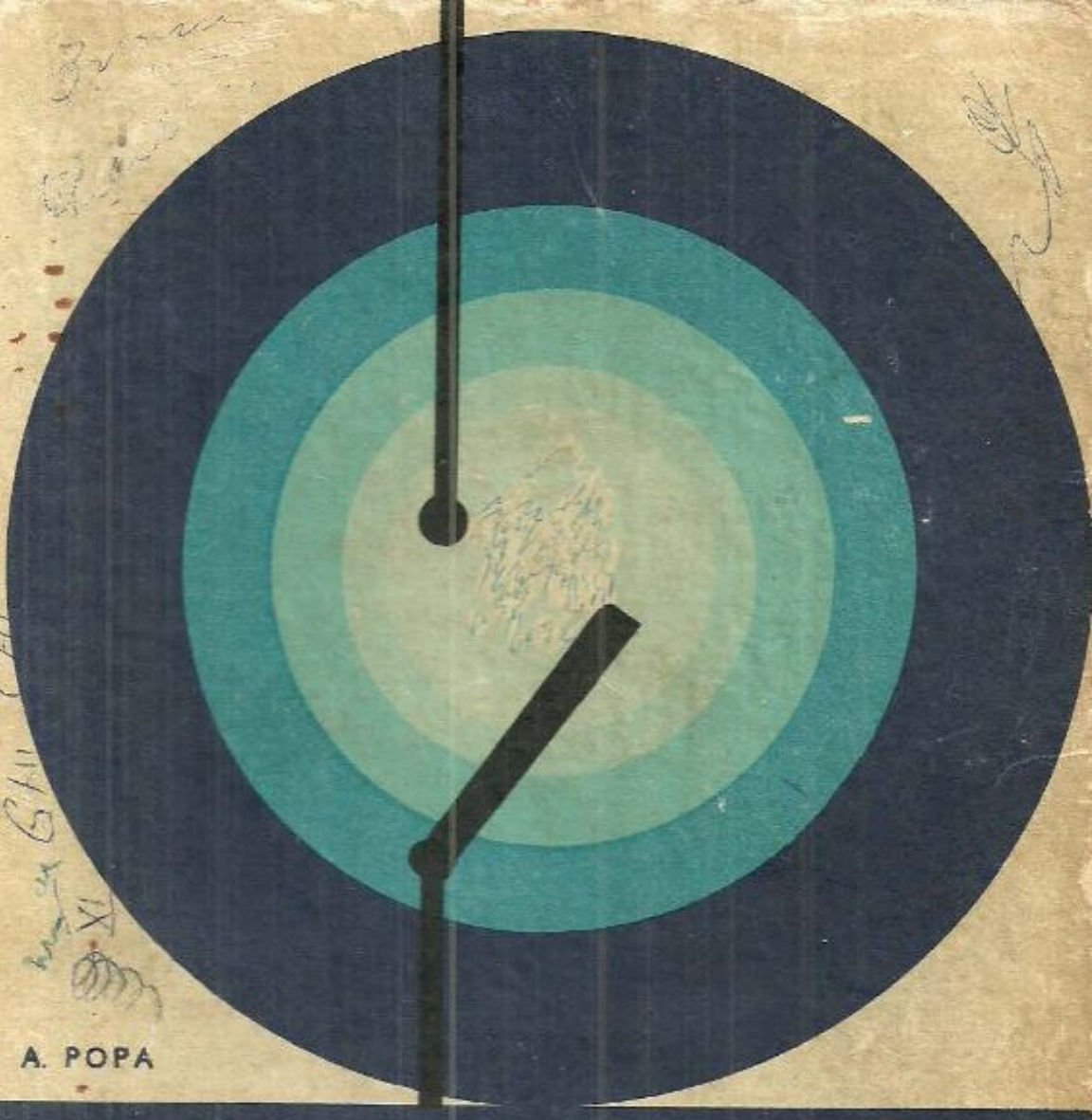


A. POPA

APARATE ELECTRICE de joasă și înaltă tensiune

MANUAL PENTRU LICEE INDUSTRIALE CU PROFIL DE ELECTROTEHNICĂ, ANII IV ȘI V, ȘCOLI DE MAIȘTRI ȘI DE SPECIALIZARE POSTLICEALĂ

Ing. AUREL POPA

4

Aparate electrice de joasă și înaltă tensiune

MANUAL PENTRU LICEE INDUSTRIALE
CU PROFIL DE ELECTROTEHNICĂ, ANII IV ȘI V
(SPECIALIZAREA ELECTRICIAN PENTRU MAȘINI
ȘI APARATE ELECTRICE), ȘCOLI DE MAIȘTRI
ȘI DE SPECIALIZARE POSTLICEALĂ

Editura
didactică
și pedagogică
București — 1977

Manualul a fost revizuit conform programei școlare aprobate de Ministerul Educației și Învățământului.

Referent: ing. *V. M. Stanciu*
Redactor: ing. *D. Hrincu*

Tehnoredactor: *T. Bălăiță*
Grafician: *V. Wegemann*

PARTEA ÎNTÎI

NOȚIUNI GENERALE PRIVIND APARATELE ELECTRICE

- Aparate electrice
- Clasificarea aparatelor electrice
- Solicitările la care sînt supuse aparatele electrice în timpul exploatării
- Mărimile caracteristice ale unui aparat electric

Capitolul 1

APARATE ELECTRICE

Pentru a satisface utilizările din ce în ce mai numeroase, sortimentul de produse electrotehnice este în continuă dezvoltare și diversificare. Oricare ar fi însă aceste produse electrotehnice, ele pot fi încadrate din punctul de vedere al funcției principale pe care o îndeplinesc în instalație, în una din următoarele categorii:

- *surse* de energie electrică;
- *consumatori* de energie electrică;
- *transformatoare* de energie electrică;
- *aparate* electrice.

Aparatele electrice (întreruptoarele, siguranțele fuzibile, separatoarele, transformatoarele de măsură, bobinele de reactanță etc.) *nu sînt nici surse, nici consumatori de energie electrică, ci au numai rolul de a asigura efectuarea în bune condiții a transportului energiei electrice de la surse la consumatori.*

Aparatele electrice au o construcție relativ complexă, avînd în componența lor toate **elementele** următoare:

- *căi conducătoare* de curent, formînd circuitele electrice ale aparatului;
- *piese izolante,* care asigură izolarea căilor de curent între ele și față de masă;
- diferite *elemente mecanice* (adesea în mișcare);
- *carcasa* de protecție și susținere a ansamblului.

Aparatele electrice îndeplinesc în instalație una dintre **funcțiunile** următoare:

- *închiderea circuitelor* electrice, pentru a asigura alimentarea cu energie a unor consumatori sau *deschiderea* lor pentru a întrerupe, cînd este necesar, această alimentare;
- *comutarea* (modificarea legăturilor electrice) în anumite circuite, cum este necesar, de exemplu, la pornirea motoarelor electrice cu inele, la care în timpul pornirii trebuie modificată treptat valoarea rezistenței introduse în circuitul rotoric;
- *supravegherea transportului energiei* și *protejarea* instalațiilor sau a consumatorilor de energie electrică împotriva avariilor (întreruperea unui scurtcircuit prin arderea unei siguranțe, deconectarea prin relee de suprasarcină a unui motor supraîncărcat, eliminarea unei supratensiuni etc.);
- *măsurarea* valorii curentului, a tensiunii sau a altor parametri electrici ai instalației;

• *supravegherea anumitor procese de producție și menținerea automată* (fără intervenția unui operator) *a regimului de funcționare dorit* (de exemplu: pornirea și oprirea unei pompe acționate electric, în funcție de nivelul lichidului în rezervor, reglarea automată a tensiunii în instalație etc.).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

Să se arate care dintre elementele enumerate mai jos reprezintă aparate electrice:

1 — izolatoare suport pentru stații;
2 — bobine de reactanță;
3 — redresoare cu seleniu;
4 — separatoare de sarcină;
5 — conductoare emailate;
6 — siguranțe fuzibile;
7 — electromagneți de acționare;
8 — butoane de comandă.

Indicații

Elevul va copia pe caietul de note tema sau întrebarea din manual (rubricile „Verificarea cunoștințelor" sau „Întrebări de control"), va da răspunsul pe care îl consideră corect, apoi îl va compara cu răspunsul corect dat la rubrica „Răspunsuri" de la sfîrșitul manualului; va trece în caiet și acest răspuns, completat eventual cu alte precizări pe care le consideră necesare.

Capitolul 2

CLASIFICAREA APARATELOR ELECTRICE

● A. APARATE DE CONECTARE ŞI DECONECTARE ● B. APARATE DE PORNIRE ŞI REGLARE A MERSULUI MAŞINILOR ELECTRICE ● C. APARATE DE PROTECŢIE ● D. TABLOURI ŞI COMPLETE DE APARATE

Clasificîndu-le **după funcţia pe care o au în instalaţie**, aparatele electrice se grupează în următoarele categorii:

- *aparate de conectare şi deconectare;*
- *aparate de pornire şi reglare* a mersului maşinilor electrice;
- *aparate de protecţie;*
- *aparate de măsurat;*
- *aparate de control şi reglare automată;*
- *complete de aparate* avînd o anumită funcţie (celule, panouri, pupitre etc.).

A. APARATE DE CONECTARE ŞI DECONECTARE

Aparatele din această categorie *au rolul de a închide şi de a întrerupe circuite electrice.*

Ele pot fi de construcţie relativ simplă, ca de exemplu întreruptoarele cu pîrghie şi separatoarele sau de construcţie mult mai complexă, ca de exemplu întreruptoarele automate de joasă sau înaltă tensiune.

Primele se caracterizează prin faptul că închiderea sau deschiderea circuitului se realizează numai cînd un operator acţionează asupra manetei sau pîrghiei de comandă a aparatului sau prin acţionare „voită" de la distanţă; de aceea, ele se numesc *aparate de conectare neautomată (manuală).* La aparatele mai complexe, manevra de închidere sau deschidere a circuitului se poate executa şi automat, adică fără intervenţia unui operator, comanda de închidere sau deschidere fiind dată de un releu de protecţie sau de alt element similar; ele se numesc *aparate de conectare automată.*

B. APARATE DE PORNIRE ŞI REGLARE A MERSULUI MAŞINILOR ELECTRICE

Aceste aparate *au rolul de a comanda pornirea, oprirea şi regimul de funcţionare al maşinilor electrice rotative.* Sînt cuprinse în această categorie:

- *controlerele şi rezistenţele* pentru pornirea şi reglajul vitezei motoarelor electrice asincrone, cu inele colectoare;

• *reostatele* pentru reglarea excitației generatoarelor;
• *comutatoarele stea-triunghi*, manuale sau automate;
• *inversoarele de sens de mers* și *comutatoarele* manuale sau automate *pentru schimbarea numărului de poli* la motoarele cu mai multe turații;
• *autotransformatoarele* și *rezistențele pentru pornirea motoarelor asincrone* cu rotor în scurtcircuit etc.

C. APARATE DE PROTECȚIE

Pentru protejarea instalațiilor electrice împotriva diferitelor defecte care pot să se producă în instalații, au fost create aparate specializate, al căror *rol este de a face imposibilă apariția defectului sau de a limita efectele acestuia*. Cele mai importante aparate de protecție sînt:
• *aparatele de protecție împotriva curenților prea mari*: relee termice sau electromagnetice de supracurent, siguranțe fuzibile, bobine de reactanță etc.;
• *aparatele de protecție împotriva tensiunilor prea mari*: eclatoare, descărcătoare tubulare, descărcătoare cu rezistență variabilă.

D. TABLOURI ȘI COMPLETE DE APARATE

Pentru comanda și supravegherea bunului mers al unei anumite instalații, sînt necesare de obicei mai multe aparate diferite (butoane de comandă, aparate de conectare și reglare, aparate de protecție, aparate de măsurat, lămpi de semnalizare etc.).

Pentru a se simplifica proiectarea și execuția instalației și îndeosebi pentru a favoriza exploatarea și întreținerea aparatelor, se obișnuiește să se concentreze toate aceste aparate într-un *ansamblu funcțional*, sub formă de: celule de comandă, tablouri sau pupitre de supraveghere etc., pe cît posibil tipizate și prefabricate.

○ **Notă.** *Aparatele de măsurat și aparatele de reglare automată* formează obiectul unor cursuri speciale și nu vor fi tratate în acest manual.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care este deosebirea între un aparat de conectare manuală și un aparat de conectare automată?
2 — Care sînt funcțiile ce le pot avea în instalații aparatele electrice?

Capitolul 3

SOLICITĂRILE LA CARE SÎNT SUPUSE APARATELE ELECTRICE ÎN TIMPUL EXPLOATĂRII

● A. SOLICITĂRI ELECTRICE ● B. SOLICITĂRI TERMICE ● C. SOLICITĂRI ELECTRODINAMICE ● D. SOLICITAREA PRIN ARCUL ELECTRIC DE ÎNTRERUPERE ● E. UZURA MECANICĂ A APARATELOR ELECTRICE PRIN FUNCȚIONARE ÎNDELUNGATĂ ● F. SOLICITĂRI DATORATE MEDIULUI ÎN CARE LUCREAZĂ APARATELE

În funcționarea aparatelor, atît în condiții normale de serviciu cît și în caz de avarii, fiecare dintre elementele componente este supus unor anumite solicitări, la care trebuie să reziste în bune condiții, timp de 10 ... 20 ani, fără a fi necesare alte intervenții ale personalului de exploatare decît cele prevăzute a se face cu ocazia reviziilor periodice.

Aceste solicitări sînt:

— *solicitarea electrică a izolațiilor*, provocată de *prezența tensiunii* pe căile de curent;

— *solicitarea termică a căilor de curent și a pieselor învecinate acestora*, ca urmare a *trecerii curentului* electric;

— *solicitarea mecanică a căilor de curent și a pieselor de susținere a acestora, sub acțiunea forțelor electrodinamice* provocate de curenții de scurtcircuit;

— *solicitările termice și mecanice*, provocate de *arcul electric*;

— *uzura mecanică* a pieselor în mișcare;

— *solicitările provocate de acțiunea mediului* în care lucrează aparatul (căldură, umezeală, vapori corosivi, praf, lovituri etc.).

A. SOLICITĂRI ELECTRICE

Solicitarea electrică *este solicitarea la care este supus un izolant electric atunci cînd două regiuni ale sale se află la potențiale diferite* (fig. 3.1).

Într-o astfel de situație tensiunea U aplicată între cele două regiuni tinde să formeze o cale conducătoare de curent, fie prin străpungerea, fie prin

conturnarea izolantului (se numește „străpungere" formarea unui canal conducător de electricitate prin interiorul unui izolant solid, lichid sau gazos, și „conturnare" — formarea unui canal conducător pe suprafața unui izolant solid).

Aceste solicitări electrice se întîlnesc în forme foarte variate la toate aparatele electrice (fig. 3.2), rolul izolației aparatelor fiind tocmai acela de a rezista pericolului de străpungere sau conturnare, un astfel de accident putînd avea urmări foarte grave în instalație (scurtcircuite, incendii, electrocutări).

● **Mărimea sau gravitatea solicitării electrice a unui izolant este influențată de următorii factori:**

— *mărimea tensiunii aplicate:* străpungerea sau conturnarea izolantului se produce cu atît mai ușor cu cît valoarea tensiunii aplicate este mai mare;

— *durata de aplicare a tensiunii:* dacă durata de aplicare a tensiunii este foarte mică, de ordinul fracțiunilor de secundă, același izolant poate suporta fără străpungere sau conturnare tensiuni mult mai mari decît acelea pe care le poate suporta în cazul unui timp de aplicare mai îndelungat;

Acest lucru se explică prin faptul că străpungerea unui izolant are un pregnant *caracter termic* și este necesar un anumit timp pentru formarea căii de curent prin care are loc străpungerea (fig. 3.3).

— *felul curentului:* se constată că izolanții sînt mai ușor străpunși dacă tensiunea aplicată este o tensiune alternativă de înaltă frecvență și relativ mai greu străpunși în curent continuu;

Acest lucru se explică prin aceea că tensiunile alternative de frecvență ridicată produc în masa izolantului fenomene care determină încălzirea acestuia, fapt care favorizează străpungerea.

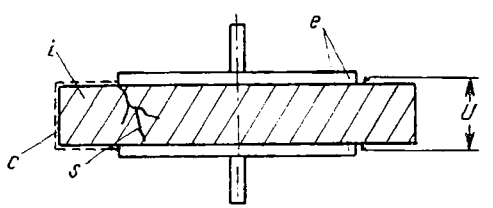


Fig. 3.1. Solicitarea electrică a unui izolant — reprezentare schematică:
i — izolant; *e* — electrozi; *U* — tensiune aplicată; *c* — linie de conturnare pe suprafața izolatorului; *s* — linie de străpungere prin izolant.

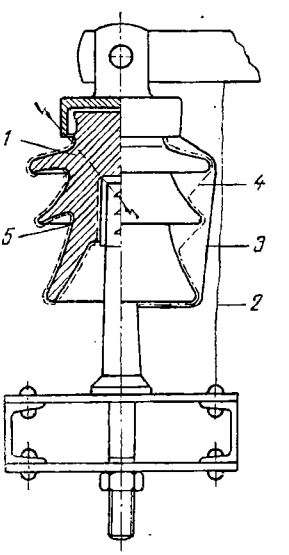


Fig. 3.2. Solicitarea electrică a unui izolator suport pentru aparate electrice:
1 — linie de străpungere prin izolator; *2* — linie de străpungere directă prin aer; *3* — linie de conturnare a izolatorului uscat; *4* — linie de conturnare a izolatorului sub ploaie; *5* — linie de conturnare a izolatorului murdar și umed (ceață sau rouă).

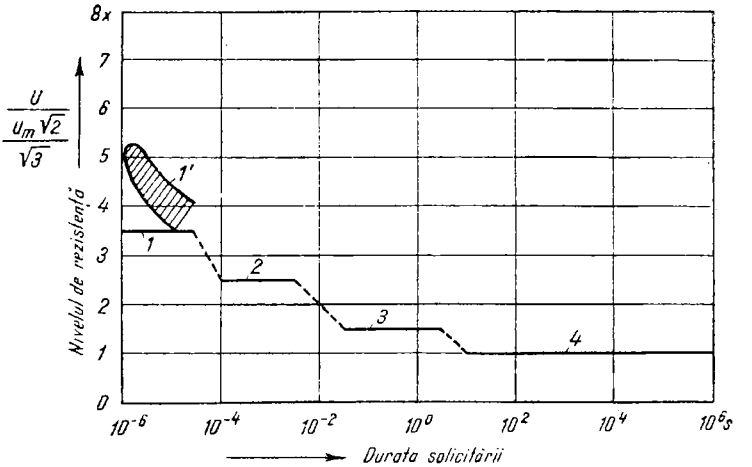


Fig. 3.3. Modificarea nivelului de rezistenţă al unei izolaţii de înaltă tensiune, în funcţie de durata solicitării:

1 — solicitare prin supratensiuni atmosferice limitate prin descărcătoare; *1'* — aceleaşi, dar limitate numai de izolaţia liniei aeriene; *2* — solicitare prin supratensiuni de comutaţie; *3* — solicitare prin creşteri de tensiune de frecvenţă industrială; *4* — nivelul maxim admis al tensiunii de serviciu de frecvenţă industrială $\frac{U_m\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$.

— *forma electrozilor:* cu cît cîmpul electric dintre electrozi este mai neomogen, cu atît tensiunea de străpungere este mai coborîtă;

— *starea suprafeţei izolantului:* praful, murdăria şi îndeosebi umezeala, uşurează formarea căilor conducătoare de curent pe suprafaţa izolanţilor, favorizînd conturnarea acestora;

— *temperatura* la care se găseşte izolantul: temperaturi depăşind 120... 150°C pot favoriza străpungerea izolanţilor solizi, inclusiv a izolanţilor ceramici.

Tabela 3.1

Tensiunile caracteristice ale aparatelor electrice de înaltă tensiune (STAS 930-75)

Tensiunea nominală U_n[kV]	Tensiunea de serviciu maximă admisă U_{Me}[kV]	Tensiunea de încercare (un minut la 50 Hz) [kV]
3.	3,6	21
6	7,2	27
10	12	35
15.	17,5	45
20	24	55
25.	30	65
30	36	75
35.	42	85
60.	72,5	140
110	123	230
220	245	460
400	420	740

○ **Observaţie.** Sînt marcate cu un punct tensiunile nominale în curs de dispariţie, la care nu se mai prevăd extinderi.

● Deoarece conturnarea sau străpungerea izolaţiei aparatelor electrice pot provoca perturbări grave şi pagube mari în instalaţii, se iau **măsuri** deosebite pentru a se evita producerea lor.

Dovada că aparatele au fost corect dimensionate şi executate se face încercîndu-se aparatele noi, în uzină. Valoarea tensiunii de încercare este prescrisă de norme şi este mult mai mare decît tensiunea de serviciu (tab. 3.1).

B. SOLICITĂRI TERMICE

Trecerea curentului electric prin conductoare determină încălzirea acestora, încălzirile fiind deosebit de mari în locurile în care secțiunea căii de curent este redusă (contacte, siguranțe fuzibile) sau rezistivitatea acesteia este mai mare (bimetale, rezistențe).

O încălzire prea mare a oricăreia dintre piesele aparatelor electrice nu poate fi admisă deoarece:

— cea mai mare parte a izolanților folosiți în prezent își pierd treptat proprietățile de izolare îndată ce temperatura de lucru depășește 100—150°C (în funcție de natura izolantului). Chiar și porțelanul își pierde proprietățile electroizolante peste 100°C;

— durata de serviciu a izolanților organici folosiți în prezent scade foarte repede dacă temperatura de lucru crește. Pe bază de experimentări s-a constatat că durata de serviciu a acestora se reduce la jumătate pentru fiecare creștere cu 8...10°C a temperaturii de lucru;

Rezultă de aici că este necesar să se recunoască temperatura de regim permisă pentru fiecare izolant și că trebuie să se evite depășirea acesteia, pentru a asigura aparatelor o durată de serviciu normală.

— la temperaturi de cîteva sute de grade, temperaturi ce pot fi atinse în timpul solicitărilor prin curenți de scurtcircuit, cuprul, aluminiul și chiar piesele din oțel își pierd repede proprietățile mecanice (fig. 3.4), ceea ce poate provoca scoaterea definitivă din funcțiune a aparatului;

— piesele arcuitoare din oțel, tombac sau bronz fosforos, foarte mult folosite în construcția aparatelor electrice, își pierd de obicei proprietățile elastice la temperaturi care depășesc 120 ... 130°C;

— la temperaturi peste 70°C se produce o oxidare mai rapidă, îndeosebi a pieselor de cupru sau din aliajele sale, fapt care înrăutățește comportarea lor în zonele de contact (contactele de cupru supuse timp de numai o oră unei temperaturi de 100°C își măresc rezistența de contact de 40 ... 50 ori);

— funcționarea aparatelor la temperaturi ridicate poate constitui un pericol de incendiu și, în anumite instalații, chiar pericol de explozie.

○○○ **Important.** Pentru motivele expuse, *standardele limitează temperatura maximă permisă a fi atinsă* de diferite organe ale aparatelor electrice, în condiții normale de serviciu sau la solicitare prin curenți de scurtcircuit.

○ **Trebuie reținut**, deci, că între solicitările la care este supus un aparat electric este cuprinsă și solicitarea termică, aceasta putînd să determine: oxidarea mai rapidă a contactelor, îmbătrînirea prematură a pieselor izolante, pierderea proprietăților elastice sau a rezistenței mecanice etc.

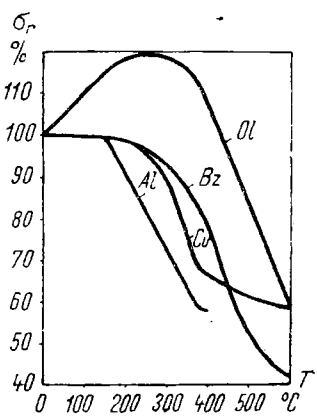


Fig. 3.4. Variația rezistenței la rupere a unor metale, cu temperatura.

C. SOLICITĂRI ELECTRODINAMICE

Curenții mari de scurtcircuit, care pot să apară în cazuri de accidente în instalație, determină apariția unor forțe de atracție sau respingere între conductoare, numite *forțe electrodinamice.*

În regim normal de funcționare a aparatelor, solicitările mecanice datorate forțelor electrodinamice sînt mici. În cazuri de accidente însă, cînd în instalație pot să apară curenți de scurtcircuit de mii și zeci de mii de amperi, asupra căilor conducătoare de curent ale aparatelor se exercită forțe de atracție sau respingere de sute și chiar mii de kilograme-forță, ceea ce solicită mecanic întregul aparat și îndeosebi căile conducătoare de curent și izolația de susținere a acestora.

D. SOLICITAREA PRIN ARCUL ELECTRIC DE ÎNTRERUPERE

Rolul principal al aparatelor de conectare și al unora din aparatele de protecție este de a stabili și a întrerupe circuite electrice. În aceste situații, între contactele de întrerupere ale aparatului se formează un arc electric, care determină solicitări foarte grele ale acestuia, prin:

— *temperatura* foarte înaltă a arcului electric (cîteva mii de grade), ceea ce poate provoca topirea locală a unor piese metalice, îndeosebi a pieselor de contact, provocînd uzura pronunțată a acestora;

— *energia termică degajată* în coloana arcului, care determină încălzirea bruscă a mediului și a pereților camerei în care se produce arcul. În cazul aparatelor la care arcul se formează sub ulei sau sub alt lichid de stingere, apariția arcului electric produce vaporizarea bruscă a unei cantități de lichid, ceea ce determină apariția bruscă a unei presiuni foarte mari (pînă la sute de atmosfere), fenomenul avînd caracterul unei explozii;

— fiind el însuși o parte dintr-un circuit, arcul electric este supus forțelor electrodinamice și poate exercita *presiuni importante* asupra pereților camerei în care arde.

Solicitarea unui aparat electric prin efectele arcului electric de întrerupere, **este determinată de următorii factori:**

— *valoarea curentului* care străbate arcul la începutul întreruperii;

— *tensiunea* ce apare între contacte imediat după întrerupere;

— *durata* arcului, care reprezintă una dintre solicitările cele mai grele la care sînt supuse aparatele în serviciu, putînd provoca explozia aparatului.

E. UZURA MECANICĂ A APARATELOR ELECTRICE PRIN FUNCȚIONARE ÎNDELUNGATĂ

Prin funcționare îndelungată, piesele în mișcare ale aparatelor se uzează treptat, ajungînd în cele din urmă la un stadiu de uzură care nu mai permite funcționarea corectă a aparatului.

Pentru a asigura aparatelor o funcționare de durată cît mai mare și a se obține intervale cît mai mari între revizii și reparații, se prescriu prin norme anumite condiții de robustețe mecanică, condiții care se verifică prin probe de laborator.

● **Măsurile care se iau în vederea asigurării unei robusteți mecanice făcătoare** a aparatelor, se referă mai ales la:

— *reducerea numărului și masei pieselor în mișcare;*

— *studierea deosebită a lagărelor;*

— *alegerea atentă a materialelor pentru obținerea unor coeficienți mici de frecare* (în cazul a două piese care trebuie să alunece una pe alta, se preferă ca una dintre piese să fie din material plastic și, în orice caz, se evită ca ambele piese să fie din același metal);

— *alegerea și tratarea deosebit de îngrijită a materialului pentru resoarte clicheți și mecanisme;*

— *supunerea sistematică a aparatelor la probe de uzură,* în vederea depistării punctelor slabe.

F. SOLICITĂRI DATORATE MEDIULUI ÎN CARE LUCREAZĂ APARATELE

În timpul funcționării lor, aparatele electrice sînt puternic influențate de acțiunea diferiților agenți fizici, cum sînt: umiditatea, praful, radiațiile solare, vaporii corosivi etc. Aceștia, acționînd asupra unor elemente sensibile ale aparatelor, pot determina funcționarea necorectă sau scoaterea lor din funcțiune.

1. APARATE CARE FUNCȚIONEAZĂ ÎN CONDIȚII NORMALE DE MEDIU

Cea mai mare parte a aparatelor se construiesc pentru a funcționa *în condiții normale,* adică în aer, într-un mediu cu următoarele caracteristici:

— presiunea atmosferică în jur de 760 torr*;

— temperatură medie de 20°C, iar temperatura maximă de 35 ... 40°C;

— umiditate normală (63% umiditate relativă);

— altitudinea pînă la 1 000 m;

— lipsa de praf și substanțe chimice corosive.

● **Aparatele de înaltă tensiune** se construiesc, în funcție de locul de utilizare, chiar pentru „condiții normale" de mediu, în două **variante**:

— *aparate destinate să funcționeze în interiorul clădirilor* (construcții „de interior");

— *aparate destinate să funcționeze în aer liber* (construcții „de exterior").

Din punctul de vedere al funcției pe care o îndeplinesc în circuitul electric, aceste două categorii de aparate nu prezintă nici o deosebire, dar aparatele de exterior — fiind supuse acțiunii directe a intemperiilor (ploaie, zăpadă, chiciură), acțiunii radiațiilor solare, a vîntului și a unor depuneri mai bogate de praf —, au izolația exterioară dimensionată mai larg și o construcție mai

* 1 torr — unitate de măsură a presiunii atmosferice.

robustă (la care se iau de asemenea măsuri de protecție împotriva pătrunderii în aparat a apei de ploaie, împotriva efectului radiațiilor solare și a unor variații mai mari de temperatură).

● **Aparatele de joasă tensiune** se construiesc obișnuit *numai pentru interior*, dar și în acest caz în mai multe **variante**:

— *aparate* destinate să funcționeze în centrale și stații electrice, unde personalul de exploatare este puțin numeros dar calificat. Aceste aparate se construiesc *în execuție deschisă*, adică, avînd părțile care în mod normal se află sub tensiune, neprotejate împotriva atingerii accidentale;

— *aparate în execuție capsulată*, destinate să funcționeze în mediu industrial, unde ele pot veni în contact cu un personal numeros și mai puțin calificat, iar pericolul de lovire a aparatului este mare. Aceste aparate se închid în carcase de fontă, din tablă de oțel, din aliaje de aluminiu sau din materiale plastice cu mare rezistență mecanică, pentru a fi protejate împotriva loviturilor și pentru a se înlătura pericolul de electrocutare a personalului;

— *aparate electrice de uz casnic*, care sînt folosite de marea masă a populației; se construiesc luîndu-se măsuri deosebite pentru a se evita accidente prin electrocutare.

2. APARATE CARE FUNCȚIONEAZĂ ÎN CONDIȚII SPECIALE DE MEDIU

Există numeroase situații în care condițiile de utilizare ale aparatelor electrice ies din cadrul *„condițiilor normale"*, și anume:

— *temperaturi* ale mediului *mai mari decît 40°C* sau foarte joase (sub — —35°C);

— *altitudine*, la locul de utilizare peste *1 000 m*;

— *atmosferă* încărcată cu *praf industrial*;

— prezență de *pulberi* sau *gaze inflamabile ori explozive*;

— *climat diferit* de cel temperat („condițiile normale" corespund, în linii mari, climatului temperat din centrul Europei).

● Aceste condiții de mediu determină solicitări deosebite ale aparatajului electric și, de aceea, pentru astfel de utilizări se elaborează **construcții speciale**, dintre care se menționează:

— *aparate destinate să funcționeze în climat normal, dar în încăperi cu umiditate mărită* (băi, pivnițe, grajduri, instalații tehnologice în care se produce abur etc.). Aceste aparate se introduc în carcase etanșe. Se folosesc anumiți izolanți rezistenți la umiditate și se iau măsuri deosebite de protecție a pieselor metalice împotriva coroziunilor. Se iau de asemenea măsuri pentru a se evita pericolul de electrocutare prin curenți de fugă *. Acolo unde este posibil, se scufundă aparatele într-o baie de ulei care protejează aparatul împotriva efectelor mediului;

— *aparate destinate să funcționeze în atmosferă industrială cu depuneri mari de praf*. Aparatele de joasă tensiune care trebuie să funcționeze în astfel de condiții sînt fie aparate funcționînd în ulei, fie aparate de construcție normală, introduse într-o carcasă etanșă la praf. În condițiile unei atmosfere industriale cu depuneri mari de praf, se introduc și aparatele de înaltă tensiune în încăperi închise, folosindu-se aparate „de interior", sau se folosesc izolatoare

* „Curenți de fugă" sînt curenți de valcare mică, care se formează pe suprafața izolanților, fără a provoca o conturnare prin arc electric.

de construcție specială, care au linia de conturnare mai lungă decît izolatoarele normale;

— *aparate destinate să funcționeze în mediu cu aer marin* (aparate „în construcție navală"). Atmosfera din apropierea țărmului mărilor solicită foarte sever aparatajul electric, deoarece:

— atmosfera umedă, sărată, favorizează foarte mult coroziunea pieselor metalice și înrăutățește mult comportarea pieselor electroizolante;

— depunerile de sare pe izolatoare, asociate cu umiditatea mare a atmosferei, favorizează mult conturnarea izolatoarelor.

Pentru a se combate aceste influențe, în construcția aparatelor se folosesc izolatoare speciale, se iau măsuri de protecție a metalelor împotriva coroziunilor și se folosesc, în locul fontei, alamei și aluminiului, aliaje rezistente la acțiunea corosivă a apei de mare, cum sînt bronzul și siluminul (aliaj de aluminiu).

La liniile aeriene de înaltă tensiune de pe litoral se folosesc izolatoare de construcție specială, deosebit de rezistente la conturnare și se preferă folosirea, în aceste regiuni, a întreruptoarelor în ulei;

— *aparate destinate să funcționeze la altitudini de peste 1 000 m sau în instalații electrice la bordul avioanelor.* La altitudini mai mari de 1000 m se face simțită influența rarefierii aerului, care determină:

— reducerea tensiunii de străpungere a aerului (celelalte condiții rămînînd nemodificate, în domeniul de presiune în jurul unei atmosfere tensiunea de străpungere a aerului scade proporțional cu scăderea presiunii). Acest lucru influențează îndeosebi utilizarea aparatelor de înaltă tensiune, putînd să impună folosirea unor aparate construite pentru o clasă superioară de izolație;

— înrăutățirea condițiilor de răcire, aerul rarefiat putînd să preia mai puțin din căldura produsă în aparate în timpul funcționării acestora. Această situație este însă, în general, compensată de faptul că odată cu creșterea altitudinii scade temperatura mediului, ceea ce favorizează răcirea;

— modificarea, la altitudini de peste 6 000—7 000 m, a condițiilor de stingere a arcului electric și a celor de comutație (uzura periilor de cărbune este mult mai rapidă).

Pentru aparatele destinate să funcționeze în stații alpine (altitudini cuprinse între 1 000 și 6 000 m) se iau în primul rînd măsuri de dimensionare mai largă a izolației exterioare (în special la aparatele de înaltă tensiune) și se verifică condițiile de răcire.

Pentru aparatele destinate să funcționeze pe bordul avioanelor sau al rachetelor, trebuie luate și alte măsuri, care ies însă din cadrul problemelor acestui manual;

— *aparate destinate să funcționeze într-un mediu conținînd pulberi sau gaze explozive.* Arcul electric care se formează în mod normal la funcționarea aparatelor de întrerupere sau cel care se poate forma în caz de accidente prin străpungerea sau conturnarea unei izolații imperfecte, poate provoca incendii sau explozii grave, dacă atmosfera este încărcată cu substanțe inflamabile sau explozive. Astfel de situații se întîlnesc: în minele de cărbuni sau în minele în care există pericolul de apariție a gazului „grizu" (amestec de metan cu aer), în instalațiile de extragere, prelucrare și depozitare a produselor petroliere și în multe instalații din industria chimică.

În aceste instalații se folosesc aparate electrice de construcție specială „antiexplozive". O variantă a construcțiilor „antiexplozive", o constituie construcția „antigrizutoasă", special destinată minelor de cărbuni.

Aceste aparate sînt astfel realizate, încît să se asigure protecția împotriva transmiterii în mediul înconjurător (care este exploziv) a flacării ce ia naștere în interiorul aparatului datorită unui arc normal de întrerupere sau a unui defect de izolație;

— aparate destinate să funcționeze în climatul țărilor calde (climat „tropical"). Climatul țărilor calde diferă de climatul „normal" prin:

— temperatură și umiditate mult mai mari decît în zona temperată (temperatura maximă la umbră poate atinge 50°C, iar umiditatea relativă 95 ... 100%), ceea ce favorizează mult coroziunea metalelor;

— variații mari de temperatură între zi și noapte, îndeosebi în climatul „cald uscat" (climat de pustiu);

— prezența unor microorganisme (mucegaiuri, ciuperci etc.) care, în condițiile de umiditate și temperatură mărite, atacă deosebit de repede materialele electroizolante curente, scoțînd în cele din urmă aparatele din funcțiune;

— radiații solare puternice (cu un conținut mare de radiații ultraviolete), care fac să crească mult temperatura pieselor supuse radiației și înrăutățesc comportarea în timp a unor izolatoare și a acoperirilor de protecție a metalelor;

— praf și nisip (în cazul climatului de pustiu), cu acțiune dăunătoare îndeosebi prin înrăutățirea funcționării contactelor și a pieselor în mișcare.

Pentru a se asigura și în aceste condiții o funcționare normală a aparatajului electric, se realizează construcții speciale.

Construcția aparatelor diferă în oarecare măsură în funcție de climatul în care sînt destinate să funcționeze:

— în climat tropical umed, denumit pe scurt „climat TH" (de la cuvintele latine „tropicus humidus");

— în climat tropical uscat — climat de pustiu, denumit pe scurt „climat TA" (de la cuvintele latine „tropicus aridus").

Aparatele trebuie să fie astfel construite și întreținute, încît să poată suporta fără defecțiuni aceste solicitări timp de 10 ... 15 ani.

Pentru a verifica dacă aparatele rezistă la solicitări, standardele prevăd încercări echivalente (solicitări mai severe, dar de durată mai scurtă), specifice fiecărui tip de aparat.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care este deosebirea între străpungerea și conturnarea unui izolant?
2 — Care sînt factorii care favorizează străpungerea unui izolant?
3 — Dați exemple de „medii de lucru" în care condițiile sînt diferite de „condițiile normale" de mediu.
4 — Care sînt măsurile principale care se iau pentru asigurarea robustețeî mecanice a aparatelor?
5 — Care sînt măsurile principale care se iau pentru realizarea aparatelor destinate să funcționeze în „climat marin"?

Capitolul 4

MĂRIMILE CARACTERISTICE ALE UNUI APARAT ELECTRIC

● A. TENSIUNEA NOMINALĂ ● B. CURENTUL NOMINAL ● C. CAPACITATEA DE RUPERE NOMINALĂ ● D. CURENTUL LIMITĂ TERMIC ● E. CURENTUL LIMITĂ DINAMIC ● F. FELUL CURENTULUI ● G. SERVICIUL NOMINAL ● H. ROBUSTEȚEA MECANICĂ

Solicitările electrice la care sînt supuse aparatele în exploatare diferă foarte mult de la un caz la altul. Deoarece, practic, nu este posibil să se construiască aparatele dimensionate pentru fiecare situație de utilizare în parte, s-a procedat în felul următor:

— au fost fixate prin standarde *anumite valori* ale tensiunii, curentului, puterii de rupere etc., anumite *„mărimi nominale"*;

— acestor valori nominale le corespund în standarde condiții de încercare bine precizate, prin care se reproduc, într-o anumită măsură, solicitările de exploatare;

— aparatele se proiectează și se construiesc numai pentru aceste trepte standardizate de tensiune, curent, putere de rupere etc., iar proiectanții de instalații aleg din gama aparatelor standardizate, pe acelea care corespund cel mai apropiat (acoperitor) condițiilor reale de exploatare.

A. TENSIUNEA NOMINALĂ

Tensiunea nominală a unui aparat este *valoarea standardizată de tensiune pentru care este construit aparatul; ea este înscrisă pe plăcuța indicatoare a acestuia.*

În funcție de valoarea tensiunii nominale se stabilesc toate încercările de verificare a izolației aparatului.

Tensiunile nominale stabilite de standardele noastre (STAS 930-75) pentru aparatele de curent alternativ sînt:

— pentru aparatele de joasă tensiune:
380/220; 660 V și 1 000V;

— pentru aparatele de înaltă tensiune:
3; 6; 10; 15; 20; 35; 60; 110; 220 și 400 kV.

○ **Notă.** Valorile *subliniate* sînt preferate pentru instalațiile noi.

Standardele precizează că tensiunea de lucru aplicată în serviciul de durată la bornele aparatului poate ajunge cel mult pînă la limita indicată de standarde pentru tensiunea de serviciu maximă admisă (v. tabela 3.1).

B. CURENTUL NOMINAL

Curentul nominal al unui aparat electric este *cel mai mare curent — ales din valorile standardizate — pe care aparatul îl poate suporta un timp oricît de lung, fără ca încălzirea diferitelor sale elemente să depășească anumite valori prescrise de norme.*

În funcție de valoarea curentului nominal se stabilesc toate încercările de verificare a încălzirii aparatului.

Valorile prescrise de standardele noastre (STAS 553-68 și STAS 4479-61) pentru curenții nominali ai aparatelor sînt indicate în tabela 4.1.

Tabela 4.1

Curenții nominali (în A) ai aparatelor de joasă tensiune (conform STAS 4479-61 și STAS 553-68)

2	—	3,15	4	6,3	—	10	16
—	25	31,5	40	63	80	100	160
200	250	315	400	630	—	1 000	1 600
2 000	—	3 150	—	—	—	—	—

C. CAPACITATEA DE RUPERE NOMINALĂ

Capacitatea de rupere nominală a unui aparat de întrerupere reprezintă *cel mai mare curent, exprimat în kiloamperi, pe care îl poate întrerupe aparatul, rămînînd în stare de funcționare, atunci cînd la bornele sale este aplicată o tensiune egală cu tensiunea sa nominală.*

○ **Observație.** Pentru aparatele de întrerupere destinate rețelelor de curent alternativ de înaltă tensiune, se folosește mai frecvent, în locul noțiunii de *„capacitate de rupere nominală"*, noțiunea de *„putere de rupere nominală"*. Aceasta este dată de relația:

$$P_r = \sqrt{3} U_n I_r ,$$

în care:

P_r este puterea de rupere, exprimată în MVA;

U_n — tensiunea nominală a aparatului, în kV;

I_r — curentul de rupere (exprimat în kA), definit ca cel mai mare curent pe care îl poate întrerupe aparatul la tensiunea nominală, acesta rămînînd în stare de funcționare.

D. CURENTUL LIMITĂ TERMIC

Curentul limită termic exprimă *aptitudinea aparatelor de a suporta solicitările termice provocate de trecerea prin aparat a curenților de scurtcircuit.*

Se indică valoarea (în kA_{ef}) și durata (1 sau 5 s) curentului de scurtcircuit care poate solicita aparatul fără ca încălzirea căilor de curent să depășească anumite temperaturi stabilite prin norme.

E. CURENTUL LIMITĂ DINAMIC

Curentul limită dinamic exprimă *aptitudinea aparatelor de a suporta solicitările mecanice* (electrodinamice) *provocate de curenții de scurtcircuit care străbat aparatul.*

Se indică valoarea de vîrf (kA_{max}) a celui mai mare curent care poate străbate aparatul, acesta rămînînd în stare de funcționare.

F. FELUL CURENTULUI

Felul curentului — *continuu* sau *alternativ* — și frecvența (în cazul curentului alternativ) constituie de asemenea date nominale ale aparatelor, condiționînd în mod hotărîtor funcționarea acestora.

G. SERVICIUL NOMINAL

Uzura mecanică, uzura contactelor și, la unele aparate, încălzirea acestora, sînt puternic influențate de regimul de lucru al aparatelor, adică de frecvența conectărilor și de timpul cît aparatul stă efectiv sub tensiune.

Deoarece în condițiile practice de utilizare acest regim de lucru poate varia în limite foarte largi, a fost necesară stabilirea unor regimuri de lucru reprezentative, denumite *„servicii nominale"* (ele au fost standardizate pentru contactoarele de joasă tensiune, dar noțiunile pot fi folosite și pentru a defini condițiile de serviciu ale altor aparate).

Aceste servicii nominale sînt:

— *serviciul de 8 ore;*
— *serviciul neîntrerupt, de durată sau permanent;*
— *serviciul intermitent.*

● **Serviciul de 8 ore** este regimul de lucru în care contactele principale ale aparatului rămîn închise și sînt parcurse de curentul de serviciu — presupus de valoare relativ constantă — un timp suficient de lung pentru a atinge echilibrul termic, dar nu mai lung de 8 ore, după care circuitul principal este întrerupt în sarcină.

Acest regim de lucru se ia ca bază pentru definirea curentului nominal al aparatelor.

● **Serviciul neîntrerupt** este regimul de lucru în care contactele principale ale aparatului, parcurse de curentul de serviciu — presupus de valoare relativ constantă — rămîn închise fără întrerupere, un timp mai mare de 8 ore (săptămîni, luni și chiar ani).

Acest regim de lucru diferă față de cel precedent prin faptul că influența depunerilor de praf și oxidările pot determina o creștere progresivă a încălzirii anumitor elemente ale aparatului (lipsind efectul de autocurățire a contactelor, serviciul neîntrerupt determină condiții de lucru mai severe, îndeosebi în ceea ce privește încălzirea și oxidarea contactelor). De aceea, în cazul regimului neîntrerupt, se folosesc fie aparate supradimensionate, fie materiale de contact deosebit de rezistente la oxidare și coroziuni.

Un astfel de regim de lucru se întîlnește la separatoare, întreruptoare cu pîrghie, siguranțe fuzibile și chiar la unele contactoare cu funcție de supraveghere.

● **Serviciul intermitent** este regimul de lucru în care aparatul execută un număr relativ mare de conectări și deconectări, în timpul cărora părțile conducătoare de curent, contactele și piesele în mișcare sînt puternic solicitate termic și mecanic.

În practică, ritmul în care se succed conectările și deconectările variază în limite destul de largi, chiar pentru același tip de aparat. Pentru a se dispune însă de criterii obiective de apreciere a unui aparat funcționînd în regim intermitent, s-au prevăzut prin norme noțiunile și valorile care definesc acest regim de funcționare. Ele sînt:

— *frecvența de conectare*, care arată numărul de cicluri * pe care le efectuează aparatul într-o oră;

— *durata relativă de conectare*, care arată, în cadrul unui ciclu, raportul dintre perioada t_a în care aparatul este parcurs de curent și durata totală t a ciclului (fig. 4.1):

$$D_A = \frac{t_a}{t} \cdot 100 \ [\%].$$

Practic însă, timpul de închidere t_i și cel de deschidere t_d, sînt neglijabile în raport cu timpul de lucru t_a și cu timpul de pauză t_p; de aceea se poate scrie:

$$D_A = \frac{t_a}{t_a + t_p} \cdot 100 \ [\%]$$

Exemplu. Un aparat care la fiecare 10 min lucrează 4 min și face pauză de 6 min, are o durată relativă de conectare:

$$D_A = \frac{4}{4 + 6} \cdot 100 = 40\%.$$

Un alt aparat, care la fiecare 5 min lucrează 2 min și face pauză 3 min, are o durată relativă de conectare:

$$D_A = \frac{2}{2 + 3} \cdot 100 = 40\%.$$

* Un ciclu = conectare + perioadă de funcționare + deconectare + pauză (fig. 4.1).

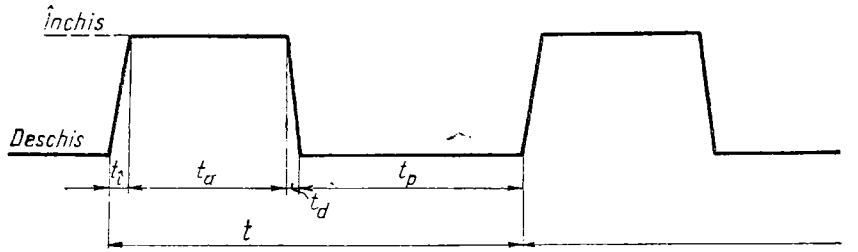


Fig. 4.1. Noțiuni de timp în funcționarea aparatelor de conectare.

Deci, cele două regimuri de funcționare sînt caracterizate prin aceeași durată relativă de conectare, deși durata totală a ciclului (respectiv frecvența de conectare) este diferită.

Frecvența de conectare exprimă îndeosebi solicitarea la uzură mecanică, iar frecvența de conectare și durata relativă de conectare *luate împreună*, exprimă solicitarea la încălzire prin acțiunea combinată a curenților de serviciu și a celor de pornire.

Pentru a se caracteriza serviciul intermitent din punctul de vedere al frecvenței de conectare, au fost standardizate cinci „clase de serviciu intermitent", indicate în tabela 4.2, iar pentru a-l caracteriza din punctul de vedere al duratei relative de conectare, au fost standardizate valorile:

15%; 25%; 40% și 60%.

Tabela 4.2

Clasele de serviciu intermitent (conform STAS 553-68)

Clasa de serviciu	Numărul de conectări pe oră	Durata totală a ciclului [s]	Durata de trecere a curentului * [s/ciclu]
0	pînă la 6 acționări pe oră	600	360
I	pînă la 30 acționări pe oră	200	72
II	pînă la 150 acționări pe oră	24	14,4
III	pînă la 600 acționări pe oră	6	2,4
IV	pînă la 1 200 acționări pe oră	3	1,2
V	pînă la 3 000 acționări pe oră	1,2	0,48

* Considerîndu-se durata relativă de conectare de 60% pentru clasele 0, I și II și 40% pentru clasele III, IV și V. Acestea sînt valorile care se iau în considerație atunci cînd pe plăcuța aparatului nu sînt marcate clasele de serviciu intermitent.

Exemplu. Un aparat care la fiecare 10 min lucrează 4 min și face o pauză de 6 min, are o frecvență de conectare de 6 conectări/h și o durată relativă de conectare:

$$D_A = \frac{t_a}{t_a + t_p} \cdot 100 = \frac{4}{4 + 6} \cdot 100 = 40\%.$$

Un alt aparat, care la 10 min lucrează 6 min și face o pauză de 4 min, are o frecvență de conectare de asemenea de 6 conectări/h și o durată relativă de conectare:

$$D_A = \frac{6}{4 + 6} \cdot 100 = 60\%.$$

Pentru orientare, în tabela 4.2 se dau duratele totale ale ciclurilor și duratele de trecere efectivă a curentului, pentru clasele de serviciu intermitent, standardizate.

H. ROBUSTEȚEA MECANICĂ

Robustețea mecanică este *numărul de manevre (cicluri) în gol* (operații complete de închidere și deschidere, dar fără curent în circuitul principal al aparatului), *pe care un aparat îl poate efectua înainte de a fi necesare revizii sau înlocuiri de piese mecanice.*

Pentru orientare, tabela 4.3 indică valorile corespunzătoare unor aparate, îndeosebi de joasă tensiune.

Tabela 4.3

Robustețea mecanică a aparatelor de joasă tensiune (conform STAS 4479-67)

Clasa de robustețe mecanică *	Frecvența de conectare	Robustețea mecanică (numărul de cicluri)	Exemple de aparate
—	1/zi	1 000	— întreruptoare automate de medie tensiune — separatoare — întreruptoare-pîrghie — întreruptoare automate de joasă tensiune, peste 1 000 A
—	1/oră	6 000	— chei de comandă și comutatoare — limitatoare de cursă directe, în ulei
0	6/oră	50 000	— contactoare în circuite de supraveghere
I	30/oră	250 000	— contactoare cu relee termice și întreruptoare automate pentru comanda și protecția motoarelor — contactoare în ulei
II	150/oră	1 200 000	— contactoare în aer folosite pentru comanda motoarelor la mașinile-unelte
III	600/oră	5 000 000	— contactoare în aer pentru mașini-unelte și poduri rulante
IV	1 200/oră	10 000 000	— contactoare în aer cu regim foarte greu de utilizare (lamincare, macarale portuare)
V	3 000/oră	10 000 000	

* Fixată prin standarde numai pentru .contactoare.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Enumerați tipurile de solicitări la care sînt supuse aparatele electrice în condiții normale de exploatare.
2 — Care sînt efectele unor temperaturi mai ridicate decît cea normală, în aparatele electrice?
3 — Care sînt „condițiile atmosferice normale" de mediu?
4 — Enumerați mărimile nominale ale aparatelor electrice, explicînd pe scurt semnificația lor.

PARTEA A DOUA

FENOMENE ELECTROFIZICE CARE DETERMINĂ SOLICITĂRI ALE APARATELOR ELECTRICE

- Încălzirea aparatelor electrice
- Forțe electrodinamice
- Supracurenți și scurtcircuite
- Arcul electric

Capitolul 5

ÎNCĂLZIREA APARATELOR ELECTRICE

● A. ÎNCĂLZIREA ÎN REGIM PERMANENT ● B. ÎNCĂLZIREA ÎN REGIM INTERMITENT ● C. ÎNCĂLZIREA ÎN SCURTCIRCUIT ● D. ALTE CAUZE DE ÎNCĂLZIRE A APARATELOR ● E. PROPAGAREA CĂLDURII

Încălzirea aparatelor electrice se datorește în primul rînd trecerii curentului electric prin conductoare (efectul Joule-Lenz). Pentru cea mai mare parte a aparatelor electrice, încălzirea este un fenomen nedorit, dar care nu poate fi evitat.

Deoarece depășirea temperaturilor admise duce la degradarea rapidă a izolațiilor și a pieselor arcuitoare (aceasta este cauza cea mai frecventă a scoaterii premature din funcțiune a numeroase produse electrotehnice), trebuie luate măsuri de limitare a încălzirii.

A. ÎNCĂLZIREA ÎN REGIM PERMANENT

1. ÎNCĂLZIREA UNUI CONDUCTOR SIMPLU, ÎNTINS ÎN AER, PARCURS DE UN CURENT CONSTANT

● **Încălzirea conductorului.** Se consideră un conductor neizolat, suspendat în aer, prin care trece un curent de mărime constantă I. Urmărindu-se evoluția temperaturii conductorului, din momentul stabilirii curentului, în comparație cu temperatura mediului ambiant (considerată constantă), *se constată* următoarele (fig. 5.1):

— temperatura conductorului, inițial egală cu cea a mediului, începe să crească, mai întîi repede, apoi din ce în ce mai încet, apropiindu-se de o anumită valoare limită numită „temperatură de regim";

— dacă se repetă experiența cu o altă valoare a curentului, evoluția încălzirii conductorului are același aspect, însă temperatura de regim este mai înaltă sau mai redusă, după cum curentul ce străbate conductorul este mai mare sau mai mic.

Explicația acestor fapte este următoarea: trecerea curentului electric determină, prin efect Joule-Lenz, pierderi de energie sub formă de căldură degajată în conductor.

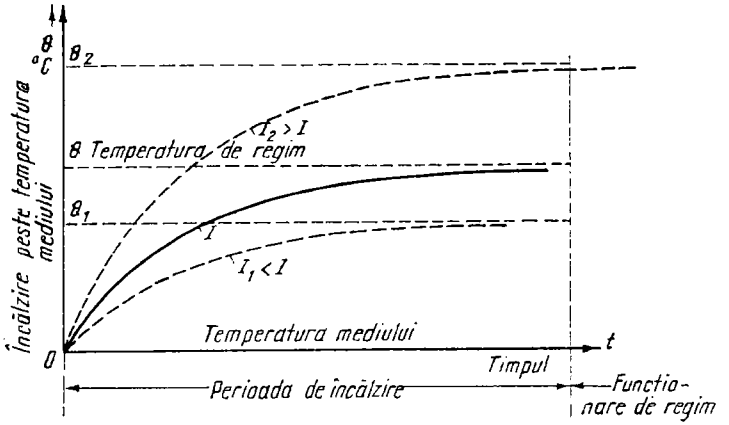


Fig. 5.1. Variația în timp a temperaturii unui conductor străbătut de curent.

Pierderile de energie W datorate efectului Joule-Lenz se exprimă prin relația:

$$W = RI^2t \text{ [J sau W} \cdot \text{s]}, \tag{5.1}$$

în care:

R este rezistența porțiunii considerate de conductor, în ohmi (Ω);

I — curentul care străbate conductorul, în amperi (A);

t — timpul considerat, în secunde (s).

Această energie sub formă de căldură, se repartizează astfel:

— o parte este *acumulată în conductor*, determinînd creșterea temperaturii acestuia;

— o altă parte este *transmisă mediului exterior* prin suprafața laterală a conductorului;

— o altă parte este *transmisă în lungul conductorului*, către părțile mai reci ale circuitului.

● Pentru **analiza calitativă a fenomenului** se poate neglija transportul de căldură în lungul conductorului și se poate considera că valoarea rezistenței conductorului nu s-a modificat datorită încălzirii. În acest caz, cantitatea de energie degajată în conductor, în unitatea de timp, este constantă și egală cu:

$$P = P_a + P_t = RI^2, \tag{5.2}$$

în care s-a notat:

P_a — puterea absorbită în conductor (pentru ridicarea temperaturii proprii);

P_t — puterea transmisă mediului exterior.

După cum se observă în figura 5.2, *deși cantitatea totală de căldură degajată în conductor în unitatea de timp rămîne constantă, repartiția acesteia între puterea acumulată în conductor și cea transmisă mediului exterior se modifică în timpul procesului de încălzire*, astfel:

— în primele momente, cea mai mare parte a căldurii degajate este acumulată de conductor, care își ridică temperatura;

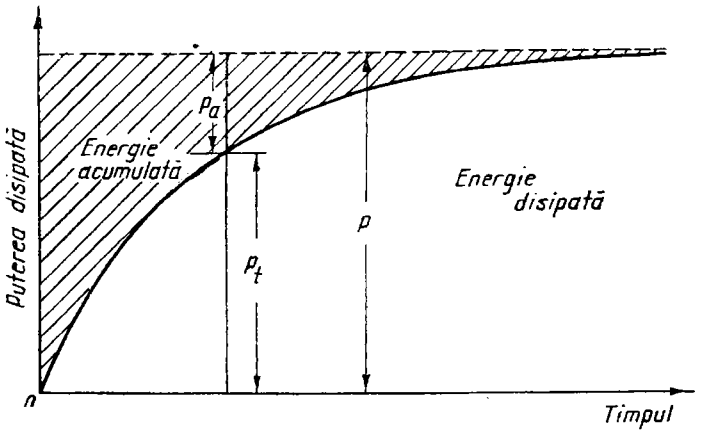


Fig. 5.2. Variația în timp a cantității de căldură absorbite P_a și a celei transmise P_t, în unitatea de timp, mediului exterior, din momentul stabilirii curentului pînă la atingerea temperaturii de regim.

— apoi, treptat, conductorul încălzindu-se, crește cantitatea de căldură cedată mediului exterior;

— după un anumit timp, întreaga cantitate de căldură degajată în conductor este cedată mediului exterior. Din acest moment, temperatura conductorului nu mai crește, fiind atinsă valoarea de regim; întreaga energie se transmite mediului înconjurător.

În această situație sînt valabile relațiile:

$$P_a = 0 \quad \text{și} \quad P_t = P. \tag{5.3}$$

Dar:

$$P = RI^2,$$

iar

$$P_t = KS\tau,$$

în care:

P_t este puterea cedată mediului exterior, în W;

K — coeficientul total de transfer termic, care exprimă energia ce se poate disipa (transmite) mediului exterior în condițiile date printr-o suprafață a conductorului de 1 cm² și la o diferență de temperatură între conductor și mediu, de 1 grd;

S — suprafața exterioară a conductorului;

τ — diferența de temperatură dintre conductor și mediu, în grd.

Rezultă că:

$$RI^2 = KS\tau. \tag{5.4}$$

Dar rezistența conductorului de lungime l este:

$$R = \frac{\rho l}{s},$$

în care s este secțiunea transversală a conductorului.

Suprafața laterală S poate fi exprimată ca produsul dintre perimetrul p al secțiunii transversale și lungimea l, exprimate în centimetri:

$$S = pl.$$

Deci relația (5.4) devine:

$$\rho \frac{l}{s} I^2 = Kpl\,\tau, \tag{5.5}$$

de unde rezultă:

$$\tau = \frac{\rho}{K} \cdot \frac{I^2}{sp}\ [\text{grd}], \tag{5.6}$$

în care: ρ este exprimat în $\Omega \cdot$ cm, K — în W/cm^{2}grd, I — în A, s — în cm^2 și p — în cm.

Dacă se notează cu j densitatea de curent în conductor $\left(j = \frac{I}{s}\right)$, făcîndu-se înlocuirea în relația (5.6) *se obține expresia încălzirii* * *conductorului după stabilizarea temperaturilor* (în funcționare de regim):

$$\tau = \frac{\rho}{K} \cdot \frac{s}{p} \cdot j^2, \tag{5.7}$$

Temperatura θ *a conductorului* se obține adunîndu-se la temperatura mediului θ_a încălzirea τ:

$$\theta = \theta_a + \tau.$$

○ **Concluzii.** Din analiza acestei relații rezultă că, *pentru ca încălzirea unui conductor* străbătut de curent *să fie mică*, trebuie ca:

— *rezistivitatea* conductorului să fie *mică*;

— *coeficientul* K să fie *mare*, deci cedarea de căldură către mediu să fie bună;

— conductorul să aibă o astfel de formă, încît *raportul dintre secțiune și perimetru* să fie *mic* (din acest punct de vedere, secțiunea cea mai defavorabilă este cea circulară);

— *densitatea de curent* în conductor să fie *mică*.

2. ÎNCĂLZIREA APARATELOR ÎN FUNCȚIONARE DE LUNGĂ DURATĂ SUB CURENT CONSTANT

Pentru a se asigura aparatelor o durată mare de funcționare, este necesar ca temperatura diferitelor organe ale acestora să nu depășească în serviciu normal anumite limite stabilite prin norme (tabela 5.1).

Normele indică de obicei atît valorile temperaturilor, cît și pe cele ale încălzirilor admise, luîndu-se ca bază o temperatură a mediului de 40°C.

Dacă, în exploatare, temperatura reală a mediului în care se află aparatul depășește limita normală de 40°C, *se modifică încălzirile admise, astfel*

* Încălzirea conductorului = creșterea temperaturii acestuia peste temperatura mediului ambiant.

Tabela 5.1

Încălziri și temperaturi limită admise* pentru aparatajul electric

Elementul aparatului	Materialul și modul de execuție	Încălzirea limită [grd]	Temperatura limită [°C]	Temperatura limită la regim de scurtă durată ** [°C]
1	2	3	4	5
Piese de contact în aer	— lamele de contact din cupru sau aliaje de cupru, cu arcuire proprie	35	75	300
	— idem, argintate (aparate de înaltă tensiune)	65	105	330
	— piese de contact masive, din cupru și aliaje de cupru, cu arcuire separată (forță de contact pînă la 2 daN)	45	85	300
	— idem, forță de contact peste 2 daN	65	105	300
	— plăci de argint, lipite cu aliaj de cositor	80	120	—
	— plăci de argint sudate sau lipite prin aliaje de cupru sau de argint	Limitată numai de temperatura admisă de piesele învecinate		—
Piese de contact în ulei	Aparate de înaltă tensiune: — contacte de cupru — idem, argintate	 35 50	 75 90	 300 300
	Aparate de joasă tensiune	Se precizează în standardele de condiții speciale ale aparatelor respective		—
Piese metalice formînd resoartele	— cupru — bronz fosforos, tombac, alamă — oțel	35 65 110	75 105 150	
Legături de contact în aer	Legături prin șuruburi sau cleme: — bare de cupru sau aliaje de cupru cositorite; — borne de legătură neprotejate, din cupru sau aliaje de cupru; — bare de cupru sau aliaje de cupru, argintate	 60 50 Limitate numai de rezistența mecanică proprie sau de temperatura admisibilă a pieselor învecinate	 100 90	 300
	Legături prin lipire: — cu aliaje de cositor (fixate mecanic prin alte mijloace); — sudate sau lipite cu aliaje de cupru sau de argint	 80 Limitate numai de temperatura admisibilă a pieselor învecinate.	 120	 —

* Tabela are numai valoare informativă. Ea s-a stabilit luînd în considerație temperatura mediului ambiant de 40°C.

** Numai pentru aparate de înaltă tensiune.

Tabela 5.1. *(continuare)*

Elementul aparatului	Materialul și modul de execuție	Încălzirea limită [grd]	Temperatura limită [°C]	Temperatura limită la regim de scurtă durată [°C]
1	2	3	4	5
Piese din materiale izolante	— hîrtii izolante, preșpan, fibră vulcanică și lemn, neimpregnate	50	90	200
	— hîrtii izolante, preșpan, fibră vulcanică și lemn, impregnate	65	105	250
	— izolanți stratificați de tipul hîrtie-bachelită (pertinax) sau pînză bachelită (textolit); — piese de bachelită cu umplutură celulozică	80	120	250
	— izolanți stratificați cu țesături de sticlă; — piese presate de bachelită și melamină cu umplutură anorganică; — piese turnate din rășini epoxidice	90	130	250
	— micanite, produse izolante pe bază de azbest sau fibre de sticlă impregnate cu lacuri sau rășini organice	115	155	—
	— idem, impregnate cu rășini siliconice selecționate	140	180	—
	— porțelan, sticlă, cuarț, mică fără lianți	Limitate numai de influența asupra rezistenței mecanice proprii și de temperatura limită a pieselor învecinate		
Porțiuni de aplicare a organelor de acționare	manete (metalice)	15	55	—
	butoane etc. (mase plastice)	25	65	—

încît să nu fie depășite temperaturile maxime admise (acestea din urmă indicînd solicitarea reală a aparatului).

De exemplu, pentru contactele de cupru ale aparatelor de conectare de joasă tensiune se indică valorile:

— temperatură maximă admisă: 105°C;

— încălzire maximă admisă: 65 grd,

de unde rezultă că a fost luată ca bază o temperatură limită normală a mediului ambiant de:

$$105 - 65 = 40°C.$$

Dacă la locul de utilizare a aparatului temperatura mediului este de 50°C, pentru a nu se periclita siguranța în funcționare a aparatului, deci pentru a nu se depăși temperatura maximă admisă, rezultă că este necesar să se reducă încălzirea admisă a contactelor la valoarea:

$$105 - 50 = 55 \text{ grd.}$$

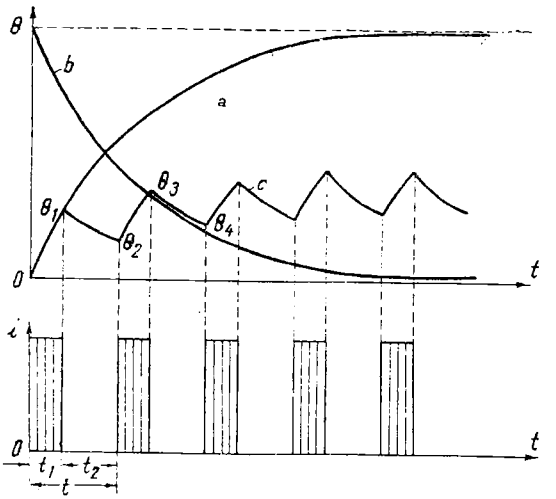


Fig. 5.3. Încălzirea unui conductor în regim de funcţionare intermitent:
a — curba de încălzire; *b* — curba de răcire; *c* — variaţia temperaturii în regim intermitent; *i* — curentul ce străbate conductorul.

Acest lucru conduce la reducerea valorii admise a curentului de serviciu în raportul: *

$$\frac{I}{I_1} = \frac{\sqrt{65}}{\sqrt{55}}$$

$$I_1 = 0{,}92\, I.$$

B. ÎNCĂLZIREA ÎN REGIM INTERMITENT

S-a arătat în cele expuse în subcapitolul A că, la trecerea curentului electric printr-un conductor, temperatura acestuia creşte mai întîi repede, apoi din ce în ce mai încet, pînă cînd atinge temperatura de regim (fig. 5.1 şi fig. 5.3, curba *a*). Dacă, după atingerea temperaturii de regim, se întrerupe curentul, temperatura conductorului scade treptat, apropiindu-se de temperatura mediului înconjurător (fig. 5.3, curba *b*).

Dacă în timpul încălzirii se întrerupe curentul după un timp t_1, mai scurt decît cel necesar atingerii temperaturii de regim, atunci temperatura conductorului, care nu a atins decît valoarea Q_1, începe să scadă, tinzînd să atingă temperatura mediului, după o curbă similară curbei de răcire *b*. Restabilindu-se curentul după o pauză t_2, deci înainte ca temperatura conductorului să o fi atins pe cea a mediului exterior, aceasta, începe imediat să crească, după o curbă de încălzire similară curbei *a*.

Repetîndu-se de mai multe ori experienţa, se constată că temperatura conductorului variază după o curbă în formă de dinţi de ferestrău (fig. 5.3, curba *c*).

Această curbă de încălzire este specifică **regimului de funcţionare intermitent**, adică *regimului în care perioade realtiv scurte de funcţionare se succedă cu pauze de asemenea scurte*. În regim intermitent lucrează ascensoarele, maşinile de ridicat, unele maşini-unelte etc.

Aparent, regimul intermitent este, din punct de vedere termic, un regim mai blînd, deoarece perioadele de lucru alternează cu pauze de răcire; practic însă, el este însoţit de supracurenţi de pornire şi de o încălzire mai accentuată a pieselor magnetice, şi de aceea este necesar ca, în exploatare, să se urmărească cu mai mare atenţie încălzirea aparatelor funcţionînd în asemenea regim.

---

* Raportul $\frac{I}{I_1}$ se obţine înlocuind în relaţia (5.6) pe τ prin valorile 65 grd şi respectiv 55 grd şi făcîndu-se împărţirea.

C. ÎNCĂLZIREA ÎN SCURTCIRCUIT

În condiții reale de funcționare, aparatele electrice sînt străbătute uneori de curenți mult mai mari decît curenții nominali, de așa-numiții **curenți de scurtcircuit.** Aceștia *au valori foarte mari, de zeci sau chiar de sute de mii de amperi, dar durate mici, de cel mult cîteva secunde.*

Dată fiind durata foarte mică a curenților de scurtcircuit, căldura produsă de aceștia nu are timp să treacă în mediul exterior și se poate considera că întreaga cantitate de căldură degajată în conductor servește pentru încălzirea acestuia.

Deci, dacă în relația (5.2) se consideră:

$$P_t = 0,$$

rezultă:

$$P = P_a.$$

Dar căldura degajată este dată de relația:

$$W = RI^2t = \rho \frac{l}{s} I^2t, \tag{5.9}$$

iar căldura acumulată în conductor este dată de relația:

$$W_a = c \cdot G \cdot \tau = c \cdot \gamma \cdot V \cdot \tau = c \cdot \gamma \cdot l \cdot s \cdot \tau, \tag{5.10}$$

în care:

c este căldura specifică a materialului conductorului, în W · s/g · grd;
G — greutatea conductorului, în gf;
V — volumul conductorului, în cm³;
γ — greutatea specifică a conductorului, în gf/cm³;
s — secțiunea, în cm²;
l — lungimea, în cm;
τ — creșterea temperaturii conductorului, în °C.

Din relațiile (5.9) și (5.10) rezultă:

$$\rho \frac{l}{s} I^2t = c \cdot \gamma \cdot l \cdot s \cdot \tau.$$

Creșterea temperaturii conductorului, după ce a fost străbătut un timp t de curentul I de scurtcircuit, este deci:

$$\tau_{sc} = \frac{\rho}{c \cdot \gamma} \cdot \frac{I^2}{S^2} \cdot t. \tag{5.11}$$

Dar ρ, c și γ sînt constante ale materialului și pot fi înlocuite printr-o singură constantă:

$$k = \frac{\rho}{c \cdot \gamma},$$

iar $\frac{I}{s} = j$ reprezintă densitatea de curent în conductor, în A/cm².

Prin urmare:

$$\tau_{sc} = k \cdot j^2 \cdot t, \tag{5.12}$$

Rezultă că: temperatura atinsă de conductor la scurtcircuit depinde numai de materialul conductorului, pătratul densității de curent în conductor și durata scurtcircuitului.

● **Încălzirea metalelor.** Avîndu-se în vedere cele de mai sus, precum și faptul că, de la o anumită temperatură, metalele își pierd repede rezistența mecanică (v. fig. 3.4), se prescriu prin norme temperaturile maxime pe care le pot atinge, în regim normal și la scurtcircuit, piesele metalice din componența aparatelor electrice.

● **Încălzirea materialelor electroizolante.** Pentru materialele electroizolante se admit, de asemenea, încălziri mai mari decît în serviciul de durată, deoarece în timpul foarte scurt cît durează un scurtcircuit temperatura înaltă a conductorului nu provoacă deteriorări ale izolației.

D. ALTE CAUZE DE ÎNCĂLZIRE A APARATELOR

Încălzirea aparatelor electrice se datorește în primul rînd trecerii curentului electric prin conductoare (efect Joule-Lenz), dar ea poate fi accentuată prin efectul unor fenomene secundare, ca de exemplu:

— magnetizarea pieselor din materiale feromagnetice:
— încălziri datorate arcului electric;
— pierderi în dielectrici și altele.

1. ÎNCĂLZIREA PRIN MAGNETIZARE

În construcția unor aparate electrice se folosesc adeseori și dispozitive electromagnetice, cum sînt:

— electromagneți de acționare;
— transformatoare de măsură;
— bobine de reactanță,

la care fluxul electromagnetic ce ia naștere în mod normal în jurul conductoarelor parcurse de curent electric, este canalizat prin miezul din material magnetic (de obicei tablă solicioasă sau oțel moale), în scopul obținerii unei inducții magnetice mai mari sau pentru a se obține un lucru mecanic util.

Încălzirea provocată de curenții turbionari în miezul magnetic al dispozitivelor electromagnetice mai sus-menționate este menținută, de regulă, la valori tolerabile prin folosirea unor miezuri din tablă silicioasă suficient de subțire (0,35 mm la transformatoarele de măsură și 0,5 ... 0,7 mm la electromagneți) și limitîndu-se, prin calcul, valoarea inducției.

Încălziri neprevăzut de mari, pot apărea:

— în cazul *electromagneților*, atunci cînd frecvența reală de conectare este mult mai mare decît cea prevăzută în calcul;

— în cazul instalațiilor mai complexe și îndeosebi la *tablourile și celulele de distribuție* de curent mari, atunci cînd în vecinătatea căilor de curent sînt plasate piese masive sau table din material magnetic.

Deformarea cîmpului magnetic al conductorului și cu aceasta forțele electrodinamice și încălzirea plăcii din material magnetic sînt deosebit de mari atunci cînd o placă din material magnetic se află în vecinătatea conduc-

toarelor parcurse de curenții intenși și este situată paralel cu liniile de forță ale acestora.

Astfel de solicitări, avînd ca efect încălziri puternice, se produc:

— în zona de ieșire, printr-un perete din material magnetic, a unor izolatoare de trecere:

— în pereții metalici ai celulelor de distribuție de curenți intenși (îndeosebi în cazul apariției unor curenți de scurtcircuit).

Pentru a se evita astfel de încălziri, se folosesc, în zonele periclitate, piese metalice din materiale nemagnetice (oțeluri nemagnetice, bronz sau aluminiu).

2. ÎNCĂLZIREA PRIN ARC ELECTRIC

Arcul electric poate atinge temperaturi de 6 000 ... 7 000°C. De aceea, el poate provoca încălziri importante ale pieselor învecinate și îndeosebi a celor cu care vine în contact, ajungîndu-se la topirea metalelor și chiar a pieselor din materiale ceramice.

Practic, arcul electric apare numai la deschiderea aparatelor de întrerupere, în spații dinainte stabilite, și durează fracțiuni de secundă, astfel încît cantitatea de căldură degajată nu este mare. De aceea, arcul electric poate fi considerat ca o sursă de încălzire care trebuie luată în considerație numai la aparatele de întrerupere cu frecvență foarte mare de conectare cum sînt contactoarele, producînd aici încălzirea contactelor și a camerelor de stingere.

3. ÎNCĂLZIREA PRIN CÎMP ELECTRIC DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ (PRIN PIERDERI ÎN DIELECTRIC)

O altă sursă de încălzire, în general mult mai puțin importantă, o constituie pierderile în izolanți, ca efect al tensiunii aplicate (pierderi în dielectric). La tensiuni joase și la frecvența industrială de 50 Hz, aceste pierderi sînt neînsemnate, dar pot deveni importante la aparate de electronică industrială folosind frecvențe înalte. Acest fenomen, de încălzire a dielectricilor la frecvențe înalte, este folosit în scopuri tehnologice pentru încălzirea materialelor sub formă de pulbere înainte de a se introduce în presă, în scopul reducerii timpului de presare și al îmbunătățirii calității pieselor presate.

E. PROPAGAREA CĂLDURII

În funcționarea aparatelor electrice se întîlnesc întotdeauna conductoare străbătute de curent, în care, prin efect Joule-Lenz, se degajează căldură.

Energia calorică se transmite din punctele cele mai calde ale conductorului (sau ale aparatului) către punctele cele mai reci ale acestuia sau către mediul exterior pe trei căi:

— *prin conducție;*

— *prin convecție;*

— *prin radiație.*

Conductibilitatea termică este *proprietatea corpurilor de a lăsa energia termică să circule prin interiorul său, de la zonele calde către zonele reci.*

Conductibilitatea termică diferă de la un corp la altul și se exprimă prin *coeficientul de conductibilitate termică* λ (W/cm · grd); λ exprimă cantitatea de energie termică care se transmite într-o secundă prin 1 cm din grosimea materialului, la o diferență de temperatură de 1 grd, secțiunea prin care se transmite căldura fiind de 1 cm^2.

În cazul unui perete plan de suprafață S (cm^2), de grosime δ (cm), având pe cele două fețe ale sale temperaturile θ_2 și θ_1, cantitatea de energie transmisă în timpul t(s) va fi:

$$W = \frac{\lambda}{\delta} \cdot S(\theta_2 - \theta_1)t\,[\mathrm{J}]. \tag{5.13}$$

Exemplu: În lungul unei bare de aluminiu ($\lambda = 2{,}1$ W/cm · grd), având secțiunea de 8 cm^2 și lungimea de 40 cm, dacă temperatura la cele două capete este respectiv de 60 și 25°C, se transmite în 4 s cantitatea de căldură:

$$W = \frac{2{,}1}{40} \cdot 8(60 - 25) \cdot 4 = 58{,}8\ \mathrm{J}.$$

Coeficientul de conductibilitate termică λ se mai poate exprima în cal/s · cm · grd.

În aparatele electrice, conductibilitatea termică se manifestă îndeosebi sub următoarele aspecte:

— *trecerea căldurii din interiorul conductoarelor către pereți* (și de aici — în mediul exterior);

— *trecerea căldurii în lungul conductoarelor, din regiunile mai puternic încălzite către regiuni mai reci.* Astfel de regiuni mai puternic încălzite decît restul conductorului sînt îndeosebi contactele și fuzibilele siguranțelor, în acestea, după cum se poate vedea, conductorul este îngustat, deci densitatea de curent este mai mare, rezultînd o încălzire locală mai puternică decît în restul conductorului;

— *trecerea căldurii în lungul conductoarelor, din regiunile mai puțin răcite către regiuni mai bine răcite.*

În toate aceste cazuri, conductibilitatea tinde să uniformizeze temperatura corpului și contribuie în mod substanțial la răcirea acestuia.

○ **Rezultă că,** în construcția de aparate, există interesul să se folosească materiale care prezintă o conductibilitate termică cît mai ridicată.

În tabela 5.2 se indică valorile coeficientului λ pentru cîteva materiale.

Se constată că materialele bune conducătoare de electricitate sînt și bune conducătoare de căldură, coeficientul λ fiind mult mai mare la metale decît la materialele izolante. Dintre metale, cuprul și argintul, care au cea mai mare conductivitate electrică, au și cea mai mare conductibilitate termică.

Tabela 5.2

Valorile coeficientului de conductibilitate termică, pentru diferite materiale

Materialul	Coeficient de conductibilitate termică λ		
	$\left[\frac{W}{cm \cdot grd}\right]$	$\left[\frac{cal}{s \cdot cm \cdot grd}\right]$	$\left[\frac{kcal}{m \cdot h \cdot grd}\right]$
Aluminiu	2,10	0,50	180
Argint	4,18	1,00	360
Cupru	3,8 ...3,95	0,90 ...0,95	326...340
Fier	0,65	0,155	56
Nichel	0,70	0,141	51
Plumb	0,33	0,08	28,4
Platină	0,70	0,17	60
Staniu	0,64	0,15	55
Zinc	1,10...1,20	0,26	95
Aur	3,10	0,74	266
Alamă	1,10	0,26	95
Duraluminiu	1,60	0,38	134
Silumin	1,60	0,38	134
Tablă de oțel, în lungul tolei	0,65	0,155	56
Tablă de oțel cu 10% izolație de hîrtie, transversal pe tolă	0,12	0,028	10
Lemn de stejar (15% umiditate)	0,001 ...0,003	0,0025 ...0,00072	0,085...0,25
Porțelan	0,008 ...0,019	0,0019 ...0,0023	0,69 ...1,6
Sticlă	0,005 ...0,01	0,0012 ...0,0024	0,43 ...0,85
Cauciuc	0,0013...0,0023	0,00031...0,00055	0,11 ...0,2
Plută	0,0003...0,0007	0,00007...0,00017	0,007...0,015
Materiale plastice	0,001 ...0,005	0,00023...0,0012	0,85 ...0,43
Spumă de polistiren (0,02 g/cm³)	0,003	0,00007	0,025...0,006
Vată de sticlă	0,0003...0,0006	0,00007...0,00014	0,025...0,05
Apă	0,006	0,0014	0,51 ...0,12

2. PROPAGAREA CĂLDURII PRIN CONVECȚIE

Într-un mediu fluid (lichid sau gaz), uniformizarea temperaturii între punctele mai calde și cele mai reci are loc pe două căi:

- *prin conducție*, adică prin propagarea căldurii din moleculă în moleculă, așa cum se produce la corpurile solide;
- *prin circulația fluidului*, cel cald, mai puțin dens, ridicîndu-se și cel rece luîndu-i locul.

Se numesc **curenți de convecție** acei *curenți de fluid care se formează datorită diferențelor de temperatură din masa fluidului de răcire.*

Ei transportă cantități foarte importante de căldură, astfel încît, la fluide, cantitatea de căldură transportată prin conducție este neglijabilă în raport cu cea transportată prin convecție.

Cantitatea de căldură cedată de un corp solid prin convecție mediului exterior fluid este dată de relația:

$$W = K_c \cdot S(\theta_c - \theta_a)t, \qquad (5.14)$$

în care:

W este cantitatea de căldură cedată în timpul t prin suprafața S, în W/s;
K_c — coeficientul de transfer termic prin convecție, în W/cm² · grd;
θ_c — temperatura corpului cald, în °C;
θ_a — temperatura fluidului în zona de contact, în °C;
S — suprafața de contact între corpul cald și mediul exterior, în cm²;
t — timpul luat în considerație, în s.

Din relația (5.14) rezultă că propagarea căldurii prin convecție are loc cu atît mai bine, cu cît:

— *valoarea coeficientului K_c este mai mare;*
— *suprafața de contact între corpul cald și mediu este mai mare;*
— *diferența dintre temperatura corpului și cea a mediului de răcire este mai mare.*

● **Valoarea coeficientului** K_c depinde de:

• *natura și viscozitatea fluidului de răcire*: cu cît acesta este mai fluid, cu atît curenții de convecție sînt mai intenși și răcirea este mai bună. Pentru aceste motive, în timpul iernii, la temperaturi foarte joase, este necesar să se încălzească uleiul din întreruptoarele automate de înaltă tensiune cu ulei mult. În caz contrar, uleiul devine vîscos, circulația acestuia este frînată și, deși diferența de temperatură între conductoare și ulei este foarte mare, totuși propagarea căldurii de la părțile conductoare de curent la mediul exterior rămîne insuficientă și se pot produce încălziri locale periculoase;

• *poziția suprafețelor de contact dintre conductor și mediul de răcire* (suprafețele verticale favorizează formarea curenților de convecție); pentru acest motiv, barele colectoare din stații se așază, de obicei, cu suprafețele laterale mari în poziție verticală;

• *viteza de circulație a curenților fluidului de răcire*; în cazul în care răcirea prin convecție naturală nu este suficientă, se mărește în mod forțat viteza de circulație a mediului de răcire cu ajutorul pompelor sau a ventilatoarelor.

În tabela 5.3 se dau, pentru orientare, valorile coeficientului K_c de propagare a căldurii prin convecție, pentru cîteva situații caracteristice.

Tabela 5.3

Valorile coeficientului K_c de transmitere a căldurii prin convecție $\left[\frac{W}{cm^2 \cdot grd}\ 10^{-4}\right]$

Elementul	Răcire cu aer				Răcire cu ulei
	Ventilație naturală	Ventilație forțată. Viteza aerului [m/s]			
		3	10	50	
Conductor de cupru rotund $d = 2$ cm	10 — 15	—	—	—	—
Bară de cupru 1 × 5 cm	9 — 10	—	—	—	—
Bobinaj izolat cu bumbac	10 — 12	20 — 40			70 — 90
Cap de bobină izolat	10 — 12	35	70	200	—
Miez de tablă silicioasă	10 — 12	30	70	110	70 — 90

3. PROPAGAREA CĂLDURII PRIN RADIAȚIE

Orice corp încălzit emite, sub formă de unde electromagnetice, radiații care se propagă în spațiu cu viteza luminii. Aceste radiații transportă cu ele o anumită cantitate de energie luată de la corpul care le-a emis; în felul acesta, corpul se răcește. Căldura cedată prin radiație de un corp mediului înconjurător este dată de relația:

$$W = K_r \cdot S(\theta_s - \theta_a)t, \tag{5.15}$$

în care:

K_r este *coeficientul de transfer termic prin radiație*, exprimat în W/cm² · grd, care arată cîți jouli se transmit într-o secundă, printr-o suprafață de 1 cm², cînd diferența de temperatură dintre corp și mediul înconjurător este de 1 grd;
S — suprafața prin care are loc radiația, în cm²;
θ_s — temperatura suprafeței, în °C;
θ_a — temperatura mediului ambiant, în °C;
t — timpul luat în considerație, în s.

○ **Rezultă** că energia transmisă prin radiație este cu atît mai importantă cu cît valoarea coeficientului K_r este mai mare, suprafața S prin care se produce radiația este mai mare și diferența dintre temperatura suprafeței și cea a mediului este mai mare.

La rîndul său, **valoarea coeficientului K_r de transfer termic prin radiație** depinde, în foarte mare măsură, de doi factori: de *temperatura corpului* și de *aspectul suprafeței*.

Astfel, valoarea coeficientului K_r, crește *cu puterea a patra* a temperaturii, luînd valori importante în domeniul temperaturilor de 1 200 ... 1 500°C și valori deosebit de mari în domeniul temperaturilor de 5 000 ... 6 000°C. La temperatura de circa 100°C, întîlnită în mod curent la aparatele electrice, cedarea energiei prin radiație este de mică importanță, cedarea căldurii făcîndu-se în cea mai mare parte prin convecție.

Pierderea de căldură prin radiație are o importanță mai mare în calculul firelor fuzibile, al încălzirii bimetalelor și în calculul cuptoarelor cu rezistență.

Valoarea coeficientului K_r depinde mult și de aspectul (culoarea și luciul) suprafeței care radiază. Culorile închise și mate radiază bine căldura, în timp ce culorile deschise și lucioase radiază puțin căldura.

Pentru o bară de cupru avînd temperatura de 120°C, coeficientul K_r are valorile:
$0{,}38 \times 10^{-4}$ W/cm² · grd, în cazul unei suprafețe polizate;
$0{,}855 \times 10^{-4}$ W/cm² · grd, în cazul unei suprafețe curățite cu răzuitorul;
$7{,}41 \times 10^{-4}$ W/cm² · grd, în cazul unei suprafețe negre, oxidate.
În acest ultim caz, energia cedată prin radiație este, deci, de 20 de ori mai mare decît în cazul suprafeței polizate.

○○○ **Important.** Pentru aceste motive, nu este bine să se acopere conductoarele cu pelicule lucioase, de exemplu prin nichelare, decît dacă acoperirea este necesară pentru a proteja suprafața de coroziuni sau oxidări. Vopsirea barelor îmbunătățește în mod sensibil răcirea acestora, deoarece vopseaua, fiind mată, radiază mai bine căldura decît metalul lucios.

În realitate, cedarea căldurii către mediul exterior nu are loc niciodată numai prin convecție sau numai prin radiație, ci întotdeauna au loc simultan ambele forme de transfer termic. De accea, în calcule se ia un *coeficient total de transfer termic K.*

Valoarea coeficientului K rezultă din relația:

$$K = K_c + K_r,$$

care cuprinde atît inlfuiența convecției, cît și influiența radiației, și se determină, de obicei, în mod experimental pe modele.

Coeficientul K se poate exprima în W/cm².grd, cal/s.cm².grd sau kcal/h.m².grd, valori pentru anumite materiale fiind date în tabela 5.4.

Tabela 5.4

Coeficientul K de transmitere a căldurii către mediul exterior (convecție + radiație)

Elementul de aparat (material, poziție, suprafață, mediu de răcire)	K W/cm²·grd	Observații
— Bare orizontale de cupru cu ø = 1... ...6 cm, în aer	(9...13) × 10^{-4}	Valorile mari se referă la diametrele mai mici
— Bare plate de cupru, așezate pe muchie, în aer	(6... 9) × 10^{-4}	
— Fontă sau oțel, vopsite, în aer	(10... 4) × 10^{-4}	
— Miezuri magnetice din tole, în aer	(10...12,5) × 10^{-4}	
— Idem, în ulei	(70...90) × 10^{-4}	
— Elemente din rezistențe din fontă, în aer	(10...13) × 10^{-4}	
— Elemente de constantan sau nichelină, din fire rotunde sau plate, înfășurate în elice, așezate vertical	20 × 10^{-4}	
— Înfășurări cu izolație de hîrtie în aer	(10...12,5) × 10^{-4}	
— Idem, în ulei	(25... 36) × 10^{-4}	
— Cilindri de porțelan în cuvă cu ulei	(50... 150) × 10^{-4}	

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt factorii care determină temperatura pe care o atinge un aparat electric în funcționare de regim?
2 — Care este valoarea stabilită de norme pentru temperatura mediului ambiant?
3 — Explicați, pe baza unor exemple numerice, legătura dintre: temperatura ambiantă, temperatura pe care o atinge un aparat electric și încălzirea în funcționare de regim a acestuia.

Capitolul 6

FORȚE ELECTRODINAMICE

● A. FORȚE ELECTRODINAMICE ÎNTRE CONDUCTOARE ELECTRICE ● B. FORȚE ELECTRODINAMICE ÎNTRE CONDUCTOARE ȘI PEREȚI DIN MATERIAL MAGNETIC ● C. EFECTELE FORȚELOR ELECTRODINAMICE ● D. MĂSURI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA EFECTULUI FORȚELOR ELECTRODINAMICE

A. FORȚE ELECTRODINAMICE ÎNTRE CONDUCTOARE ELECTRICE

Prin experiențe s-a constatat că *între două conductoare electrice vecine, străbătute de curent, se exercită forțe de atracție sau de respingere.*

În cazul curenților mari de scurtcircuit, acestea iau valori deosebit de mari și pot determina distrugerea aparatelor sau a instalațiilor electrice.

1. FORȚE ELECTRODINAMICE ÎNTRE CONDUCTOARE PARALELE

● **Valoarea forței electrodinamice.** În cazul a două conductoare paralele străbătute respectiv de curenții I_1 și I_2, forțele sînt de atracție (caută să apropie barele) dacă curenții sînt de același sens și de respingere (caută să îndepărteze barele) dacă curenții sînt de sensuri contrare (fig. 6.1, *a* și *b*).

Valoarea acestor forțe este dată de relația:

$$F = 2{,}04\, I_1 I_2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-8}\ [\text{daN}]$$

sau dacă $I_1 = I_2 = I$:

$$F = 2{,}04\, I^2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-8}\ [\text{daN}] \qquad (6.1)$$

în care:

I este curentul care străbate cele două conductoare, în A;

l — lungimea de conductor luată în considerație (de exemplu, distanța dintre două izolatoare-suport);

a — distanța dintre conductoare (fig. 6.1, *c*); l și a se exprimă în aceleași unități.

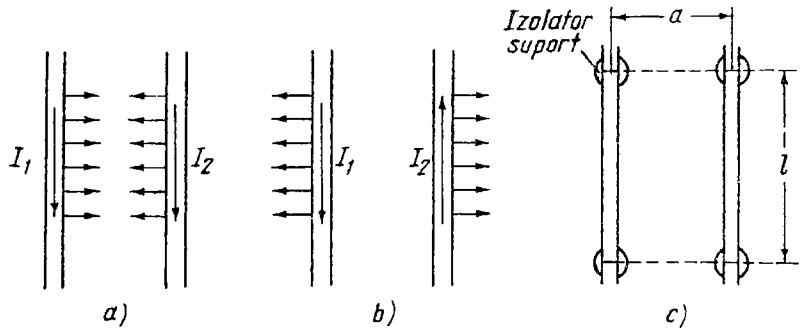


Fig. 6.1. Forțe electrodinamice între conductoare paralele:
a — curenți în același sens; *b* — curenți în sens contrar; *c* — bare conductoare de curent susținute de izolatoare suport.

Din relația (6.1) rezultă că valoarea forței electrodinamice care se exercită între două conductoare paralele crește cu pătratul curentului ce străbate conductoarele și este cu atît mai mare cu cît conductoarele sînt mai apropiate.

Exemplu: Pentru a avea o idee asupra ordinului de mărime al forței electrodinamice se consideră două bare paralele de lungime $l = 120$ cm, situate la o distanță $a = 80$ cm una de cealaltă.

În regim normal $I = 600$ A.

Rezultă: $F = 2{,}04 \times 600^2 \times \frac{120}{80} \times 10^{-8} = 0{,}011$ daN.

Deci în regim normal această forță este fără importanță.

În regim de scurtcircuit $I = 60$ kA.

Rezultă:

$$F = 110 \text{ daN}.$$

Deci, la scurtcircuit, forța electrodinamică ia valori importante, care pot să pericliteze siguranța de funcționare a instalațiilor și aparatelor.

● **Sensul de aplicare al forțelor electrodinamice** este reprezentat în figura 6.1, și anume:

• *în cazul conductoarelor paralele străbătute de curenți* în același sens (fig. 6.1, *a*), forțele electrodinamice *tind să apropie conductoarele*;

• *în aceeași situație, dacă curenții sînt de sensuri opuse* (fig. 6.1, *b*), *ele tind să îndepărteze conductoarele.*

2. FORȚE ELECTRODINAMICE ÎNTR-UN CIRCUIT DE CURENT ÎN BUCLĂ

În cazul unui circuit buclă de curent, așa cum se întîlnește foarte frecvent în construcția aparatelor electrice (fig. 6.2), se constată:

— *în cazul punții de contact a unui întreruptor* automat (fig. 6.2, *a*), forțele electrodinamice tind *să îndepărteze puntea.* Aceasta are ca efect slăbirea presiunii pe contacte și poate duce la topirea și la sudarea contactelor;

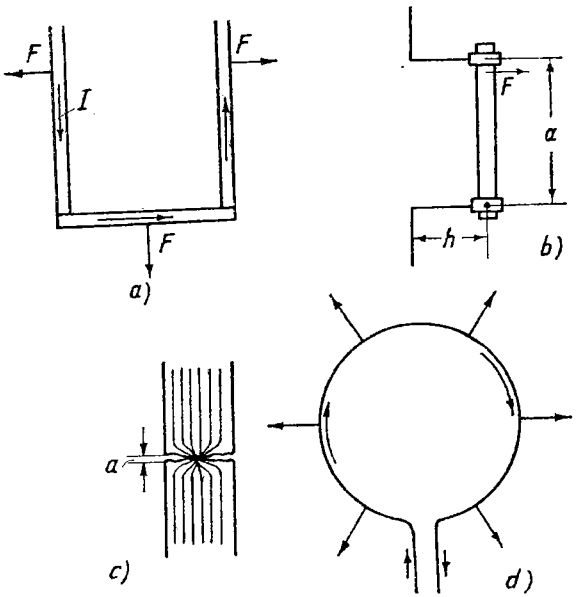


Fig. 6.2. Forțe electrodinamice în bucle:
a — punte de întreruptor; *b* — cuțit de separator; *c* — contacte masive; *d* — spiră a unei bobine.

— *în cazul unui separator* (fig. 6.2, *b*), forțele electrodinamice tind *să deschidă cuțitul* separatorului, ceea ce poate provoca avarii importante în instalații. Trebuie reținut faptul că forța electrodinamică care se exercită asupra cuțitului este cu atît mai mare, cu cît raportul h/a este mai mare;

— *în contactele electrice* punctiforme (fig. 6.2, *c*), liniile de curent fiind obligate să se concentreze în punctul de contact efectiv, se formează bucle în care apar forțe electrodinamice foarte mari, care caută să respingă contactele (distanța *a* fiind foarte mică, raportul h/a ia valori foarte mari). Rezultatul este slăbirea presiunii de contact și încălzirea exagerată a acestora, care poate duce chiar la topirea și la sudarea contactelor;

• *în cazul unei spire*, forțele electrodinamice sînt centrifuge; ele tind să mărească bucla (fig. 6.2, *d*).

B. FORȚE ELECTRODINAMICE ÎNTRE CONDUCTOARE ȘI PEREȚI DIN MATERIAL MAGNETIC

Dacă un conductor străbătut de curent se află în vecinătatea unui perete din material magnetic (de exemplu, îmbrăcămintea de tablă a unei celule), se constată că între conductor și perete se exercită o forță electrodinamică de atracție.

● **Valoarea forței de atracție** este dată de relația:

$$F = 2{,}04 \cdot I^2 \frac{l}{2a} \cdot 10^{-8} \text{ [daN[,} \qquad (6.2)$$

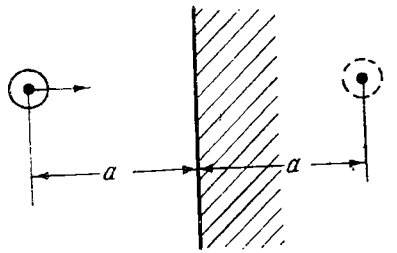


Fig. 6.3. Forțe electrodinamice între un conductor parcurs de curent și un perete vecin, din material magnetic.

în care:

a este distanța conductorului față de perete (fig. 6.3);

l — lungimea conductorului, în m;

I — curentul prin conductor, în A.

○ **Observație.** Efectul peretelui este identic cu acela al unui conductor paralel, plasat la aceeași distanță, de cealaltă parte a peretelui și străbătut în același sens de un curent egal cu cel ce străbate conductorul.

C. EFECTELE FORȚELOR ELECTRODINAMICE

Forțele electrodinamice solicită mecanic căile de curent și suporții acestora, putînd produce deteriorarea și uneori chiar distrugerea lor.

Defectele cele mai frecvent întîlnite, provocate de efectul forțelor electrodinamice, sînt:

- *îndoirea conductoarelor și,* prin aceasta, reducerea distanțelor de izolare;
- *slăbirea legăturilor și chiar desprinderea conductoarelor din legături;*
- *slăbirea presiunii pe contacte,* care poate determina sudarea contactelor;
- *distrugerea* prin solicitare mecanică a izolatoarelor-suport;
- *deschiderea separatoarelor sub sarcină,* lucru deosebit de grav, care poate produce scurtcircuite în instalație și deteriorări importante ale acesteia;
- *deformarea bobinelor.*

În curent alternativ, unde valoarea instantanee a curentului se modifică continuu între zero și o valoare maximă, se produce concomitent o variație (cu frecvența de 100 cicluri pe secundă) a sensului forțelor electrodinamice, ceea ce poate provoca *vibrații importante* și mărește solicitările mecanice, îndeosebi în cazul unei rezonanțe mecanice.

D. MĂSURI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA EFECTULUI FORȚELOR ELECTRODINAMICE

Pentru evitarea deteriorării aparatelor și instalațiilor electrice prin efectul curenților de scurtcircuit, se iau o serie de **măsuri destinate să asigure în primul rînd rezistența mecanică a căilor de curent.** Aceste măsuri sînt:

- *fixarea cît mai rigidă a conductoarelor* în aparate și instalații;
- *alegerea, pentru căile de curent ale centralelor și aparatelor de intensități mari, a unor profile de conductoare cu rezistență mecanică mare* (se folosesc profile în „U", atît pentru barele colectoare, cît și pentru contactele mobile ale separatoarelor de curenți nominali mari);

• *folosirea, pentru susținerea barelor colectoare, a unor izolatoare-suport cu rezistență mecanică corespunzătoare, plasate la anumite distanțe, calculate din punctul de vedere al solicitărilor la scurtcircuit;*

• *impregnarea bobinelor din aparate și transformatoare de măsură în rășini izolante,* rigidizîndu-se astfel înfășurările;

• *asigurarea separatoarelor împotriva deschiderii prin efectul forțelor electrodinamice,* prin:

— *proiectarea separatorului și a instalației astfel încît căile de curent să nu formeze buclă sau bucla să fie astfel încît forțele electrodinamice să se opună deschiderii separatorului;*

— *folosirea de dispozitive magnetice* (plăci de oțel plasate în vecinătatea contactelor), care fac ca presiunea pe contact să crească odată cu curentul și împiedică astfel deschiderea separatorului la scurtcircuit;

— *folosirea de clicheți, care nu permit deschiderea separatorului decît atunci cînd este acționat cu ajutorul prăjinii de comandă;*

— *blocarea mecanică a dispozitivului de acționare.*

În unele construcții de aparate electrice, forțele electrodinamice sînt folosite fie în scopul de a mări presiunea pe contact în timpul scurtcircuitelor, fie în scopul de a mări viteza de deschidere a contactelor.

Arcul electric, fiind de asemenea o porțiune a unui circuit de curent, este și el supus activității forțelor electrodinamice. Acest efect este folosit în unele aparate de întrerupere de joasă tensiune, pentru a favoriza stingerea arcului („suflaj magnetic").

Capitolul 7

SUPRACURENȚI ȘI SCURTCIRCUITE

● A. SUPRACURENȚI ● B. SUPRACURENȚI LA PORNIREA MOTOARELOR ELECTRICE ASINCRONE CU ROTOR ÎN SCURTCIRCUIT ● C. CURENȚI DE SCURTCIRCUIT ● D. CURENȚI DE SUPRASARCINĂ

A. SUPRACURENȚI

Curentul nominal I_n reprezintă *valoarea cea mai mare de curent pe care aparatul o poate suporta un timp oricît de lung, fără ca încălzirile diferitelor părți ale aparatului să depășească valorile maxime admise de norme.*

Practic, în condiții de serviciu, curenții care străbat în mod real aparatele (curenți de serviciu) sînt mai mici decît curentul nominal, valoarea lor variind de obicei de la un moment la altul, în funcție de condițiile de sarcină, dar rămînînd mai mică sau cel mult egală cu curentul nominal.

Există totuși anumite situații în care curentul de serviciu din instalație depășește valoarea curentului nominal al aparatelor.

Se numește **supracurent** *orice creștere, chiar de scurtă durată, a curentului care străbate circuitul, peste curentul nominal al aparatelor montate în circuit.*

Orice supracurent poate fi caracterizat prin două elemente: *mărimea* supracurentului și *durata* lui.

Din punctul de vedere al duratei se deosebesc (tabela 7.1):

- *supracurenți de foarte scurtă durată;*
- *supracurenți de scurtă durată;*
- *supracurenți de lungă durată.*

1. SUPRACURENȚI DE FOARTE SCURTĂ DURATĂ

Aceștia sînt provocați de *procese de comutație,* cum ar fi de exemplu, la:

— punerea sub tensiune a unui transformator (curenți de magnetizare);
— punerea sub tensiune a unei baterii de condensatoare;
— punerea sub tensiune a unui grup de lămpi cu incandescență.

● **La punerea sub tensiune a transformatoarelor** de forță pot apărea supracurenți de $(6 \ldots 10)I_n$, care se amortizează însă la cîteva semiperioade

Tabela 7.1

Supracurenți

Clasificare după durată	Condiții în care apar supracurenții		Valoarea	Durata	Metode de protecție
1	2	3	4	5	6
1. *Tranzitorii* (de foarte scurtă durată)	Apar în condiții normale de serviciu	• la punerea sub tensiune a transformatoarelor de forță	$6-10I_n$	0,05 s	În general, nu se iau măsuri speciale de protecție
		• la punerea sub tensiune a bateriilor de condensatoare	$20-50I_n$	0,005 s	Punerea sub tensiune prin intermediul unei rezistențe
		• la punerea sub tensiune a becurilor cu filament de wolfram	$8-10I_n$	0,01 s	Se evită conectarea simultană a grupurilor de becuri de putere mare
2. *De scurtă durată*	Apar în condiții de defect grav în instalație (curenți de scurtcircuit)	• deteriorări ale izolației; • ruperea unui conductor; • deschiderea unui separator sub sarcină; ș.a.	zeci de kA	Fracțiuni de secundă pînă la cîteva secunde, în funcție de reglajul protecției	Folosirea de siguranțe fuzibile și întreruptoare ultrarapide, precum și relee rapide de protecție, care determină dezexcitarea generatorului și deconectarea circuitului defect
	Apar în situații normale de serviciu	• la pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit	$5-7\ I_n$	3 — 15 s, în funcție de sarcină	Folosirea de rotoare cu dublă colivie sau cu bare înalte; pornirea stea-triunghi sau cu autotransformator de pornire, siguranțe fuzibile cu întîrziere
3. *De lungă durată*	Apar în situații de exploatare incorectă sau defecte ușoare în instalație	• la supraîncărcarea motoarelor	$1,2-1,5\ I_n$	Zeci de minute	Folosirea de relee de suprasarcină
		• la funcționarea motoarelor cu o fază întreruptă	$1,2-2I_n$	Zeci de minute	Folosirea de relee care sesizează funcționarea cu o fază întreruptă

și, de aceea, în general, nu influențează funcționarea corectă a aparatelor, dar pot provoca arderea siguranțelor fuzibile sau funcționarea nedorită a releelor de protecție.

Apariția acestor supracurenți tinde să fie mai pronunțată la transformatoarele care utilizează materiale magnetice moderne și care — din motive economice — sînt dimensionate să funcționeze foarte aproape de zona de saturație magnetică.

● **La punerea sub tensiune a bateriilor de condensatoare**, curentul inițial de încărcare poate forma supracurenți pînă la 50 I_n, a căror durată este însă de ordinul milisecundelor.

Limitarea acestor supracurenți se obține prin înserarea unei rezistențe în circuit în momentul punerii sub tensiune a bateriei de condensatoare.

● **La punerea sub tensiune a lămpilor cu incandescență** apar de asemenea supracurenți de (8 ... 10)I_n, a căror durată este de ordinul unei sutimi de secundă. Acești supracurenți se datoresc faptului că filamentul lămpilor are în stare rece, o rezistență mult mai mică decît după ce s-a încălzit; ei devin supărători îndeosebi cînd se aprind simultan grupuri de lămpi de putere mare.

Toți acești supracurenți apar în condiții normale de serviciu și, în general, nu pot fi evitați. De obicei, ei nu determină solicitări periculoase ale aparatelor montate în circuit, durata lor fiind foarte mică, dar pot provoca funcționarea nedorită și supărătoare a siguranțelor sau releelor.

2. SUPRACURENȚI DE SCURTĂ DURATĂ

În această categorie sînt cuprinși:

— *supracurenții de pornire ai motoarelor electrice asincrone;*

— *curenții de scurtcircuit*, a căror apariție reprezintă unul din defectele cele mai grave ale unei instalații electrice.

3. SUPRACURENȚI DE LUNGĂ DURATĂ

În această categorie sînt cuprinși *curenții de suprasarcină*, care apar uneori în situații de exploatare necorespunzătoare sau la funcționarea motoarelor cu o fază întreruptă.

B. SUPRACURENȚI LA PORNIREA MOTOARELOR ELECTRICE ASINCRONE CU ROTOR ÎN SCURTCIRCUIT

Dacă se oscilografiază evoluția curentului absorbit *la pornire* de un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit, se constată că chiar la sarcini mici, motorul absoarbe la început un curent mult mai mare decît cel nominal, valoarea curentului de pornire scăzînd apoi pe măsură ce turația motorului se apropie de cea nominală.

1. FACTORII DE CARE DEPIND SUPRACURENȚII DE PORNIRE

În legătură cu supracurenții care apar la pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, trebuie reținute următoarele (fig. 7.1):

• **valoarea** *curentului de pornire depinde numai de construcția rotorului și nu depinde deloc de sarcină.* Valoarea maximă a curentului de pornire este deci aceeași la pornirea în gol, ca și la pornirea cea mai grea. Valoarea inițială a curentului de pornire poate atinge valori de (7 ... 8)I_n la motoarele asincrone normale cu colivia formată din bare rotunde, și numai de (4 ... 5)I_n la motoarele avînd rotorul cu bare înalte sau în dublă colivie;

• **durata** *supracurenților nu depinde de tipul de rotor* (de construcția rotorului), *ci numai de natura sarcinii,* și este de ordinul a:

— 2 ... 3 s la pornire în gol (fig. 7.1, curba *a*);

— 8 ... 10 s la pornire cu sarcină normală (fig. 7.1, curba *b*);

— 14 ... 16 s la pornire grea și antrenarea unor mase cu moment mare de inerție (fig. 7.1, curba *c*).

Aceste valori se referă la motoare uzuale de 1 ... 30 kW și cresc cu puterea motorului.

2. EFECTELE APARIȚIEI SUPRACURENȚILOR

Supracurenții care apar la pornirea motoarelor asincrone pot avea ca efecte:

• *variații mari de tensiune a rețelei,* dacă motorul este de putere mare, iar rețeaua este de putere relativ mică;

• *arderea nedorită a siguranțelor* fuzibile;

• *funcționarea releelor reglate prea strîns;*

• *încălzirea periculoasă a motorului și a aparatelor,* în cazul în care pornirile sînt dese.

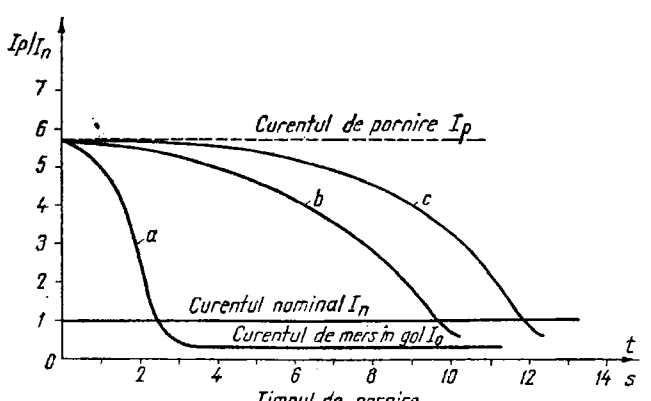


Fig. 7.1. Evoluția în timp a curentului de pornire a unui motor asincron cu rotorul în scurtcircuit.

C. CURENȚII DE SCURTCIRCUIT

1. CURENT DE SCURTCIRCUIT DE ȘOC. CURENT DE SCURTCIRCUIT PERMANENT

Se face următoarea experiență: cu ajutorul unei prăjini izolante se aruncă o bucată de sîrmă groasă peste conductoarele unei linii, de transport de energie, scurtcircuitîndu-se astfel conductoarele liniei, și, cu ajutorul unui oscilograf, se urmărește variația curentului pe linie, în partea dinspre generator. Pe oscilograma astfel ridicată se constată (fig. 7.2) că:

— *înainte de scurtcircuitare,* prin conductoarele liniei trece curent *de serviciu* i_s;

— *în momentul scurtcircuitării,* curentul crește brusc la o valoare care poate fi de zeci și chiar sute de ori mai mare decît curentul nominal, și care se numește *curent de scurtcircuit* i_k.

Dacă se repetă de mai multe ori operația scurtcircuitării, se constată că primele alternanțe ale curentului de scurtcircuit i_k diferă de la o experiență la alta. În funcție de valoarea instantanee a tensiunii în momentul scurtcircuitării, se pot realiza următoarele aspecte ale curentului inițial de scurtcircuit:

— în unele situații, curentul de scurtcircuit apare ca un curent alternativ simetric (alternanța pozitivă fiind egală cu cea negativă), de amplitudine rapid descrescătoare către o valoare constantă, care este valoarea *curentului de scurtcircuit permanent* i_p;

— în alte situații, curentul I_k are o valoare mai mare și nu mai este simetric adică alternanța de o anumită polaritate este mai mare decît alternanța de polaritate opusă.

Se numește **curent de scurtcircuit de șoc** *(i_{soc}) valoarea de vîrf a primei alternanțe a curentului de scurtcircuit.*

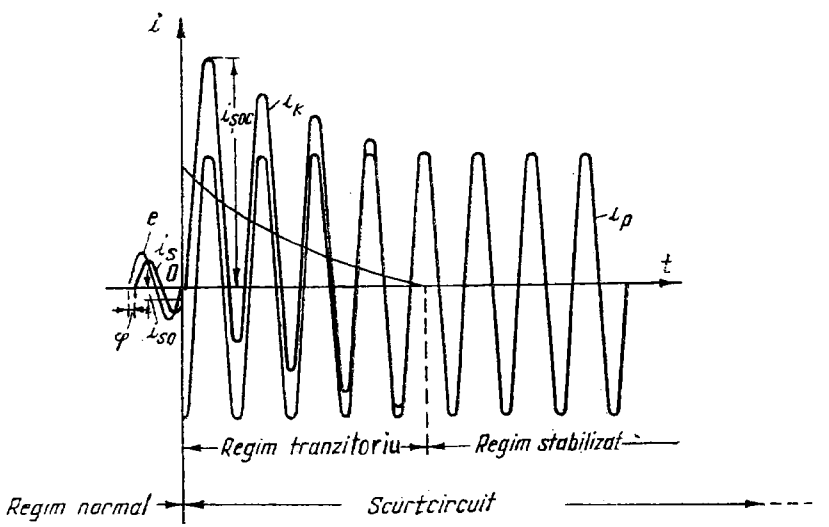


Fig. 7.2. Evoluția în timp a unui curent de scurtcircuit.

Aceasta este valoarea care intervine din punctul de vedere al solicitărilor mecanice (electrodinamice).

○ **Rezumînd**, trebuie reținute următoarele:

• curentul de scurtcircuit nu se stabilește de la început cu valoarea sa permanentă (de regim stabilizat), ci începe cu o valoare mai mare, care descrește în cîteva semiperioade la valoarea de regim a curentului de scurtcircuit;

• *curentul de scurtcircuit permanent* I_p (valoarea eficace) se măsoară în kiloamperi. El poate atinge cîteva zeci de kA și este hotărîtor pentru calculul solicitării termice a aparatelor;

• *curentul de scurtcircuit de șoc* (valoarea de vîrf) se măsoară în kiloamperi, (valoare de vîrf) și poate atinge valoarea:

$$i_{soc} = 1{,}8\sqrt{2} \cdot I_p = 2{,}55 \cdot I_p. \tag{7.1}$$

Această valoare este hotărîtoare pentru solicitările dinamice ale aparatelor.

În practică, aceste valori ale curenților de scurtcircuit se calculează pentru diferite situații ale rețelei și, în funcție de situațiile cele mai defavorabile, se aleg:

— puterea de rupere a întreruptoarelor și siguranțelor;

— reglarea releelor de protecție;

— tipul de izolatoare pentru barele colectoare, forma și poziția de montare a acestora, precum și distanța dintre ele.

● Printre **cauzele** cele mai frecvente ale **scurtcircuitelor** se pot cita:

— străpungerea izolației, ca urmare a unei solicitări termice exagerate, a umidității sau a supratensiunilor;

— defecte mecanice (ruperi de conducte sau de stîlpi, lovirea cablurilor la săpături etc.);

— manevre greșite.

2. MĂSURI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

Scurtcircuitele reprezintă unele dintre accidentele cele mai grave și cele mai frecvente în instalațiile electrice de curenți tari. Ele determină, de obicei, distrugerea aparatelor slab dimensionate, deteriorări grave ale instalației și pot provoca incendii sau alte accidente grave. În instalațiile moderne, cu procese de fabricație continue, pagubele datorite întreruperii alimentării cu energie electrică pot fi mult mai mari decît cele provocate prin deteriorarea instalației electrice propriu-zise. Pentru aceste motive, se iau măsuri deosebite de protecție a instalațiilor electrice, astfel încît să se evite producerea curenților de scurtcircuit sau să se limiteze efectele acestora.

● **Măsurile preventive**, pentru evitarea producerii curenților de scurtcircuit sînt:

• *verificarea periodică a stării izolației;*

• *calculul atent al curenților de scurtcircuit;*

• *verificarea aparatelor la solicitările prin forțe electrodinamice și la solicitările termice* ale curenților de scurtcircuit;

• *instructajul periodic al personalului,* pentru a se evita manevrele greșite.

● **Protecția împotriva supracurenților** se realizează prin următoarele măsuri:

• *folosirea de aparate de pornire* (comutatoare stea-triunghi sau autotransformatoare de pornire), care reduc, în momentul pornirii, tensiunea aplicată la bornele motorului; se obține în felul acesta o reducere a intensității curentului absorbit, proporțională cu reducerea tensiunii aplicate, dar se reduce în aceeași proporție și cuplul de pornire, mărindu-se durata pornirii;

• *construcția specială a rotorului* (rotor cu bare înalte sau rotor cu dublă colivie);

• *folosirea de siguranțe fuzibile cu caracteristică specială* „cu întîrziere" și *de relee* astfel legate, încît să nu declanșeze sub acțiunea curentului de pornire, dar să declanșeze la suprasarcini de lungă durată.

● **Limitarea valorii curentului de scurtcircuit** se realizează prin:

• *alegerea schemei* instalației astfel încît să nu fie posibilă producerea unor curenți mari de scurtcircuit;

• *folosirea bobinelor de reactanță*, al căror rol este de a mări în mod artificial reactanța circuitului (sînt folosite îndeosebi în rețelele de cabluri, a căror reactanță proprie este foarte mică);

• *folosirea rezistențelor limitatoare* (în circuitul transformatoarelor de tensiune).

● **Reducerea duratei scurtcircuitului** micșorează solicitarea termică a aparatelor și, îndeosebi, evită agravarea defectului prin dezvoltarea arcului de scurtcircuit. *Se folosesc* în acest scop: *siguranțe fuzibile, întreruptoare automate, relee de protecție.*

3. SOLICITAREA APARATELOR PRIN CURENȚI DE SCURTCIRCUIT

Curenții de scurtcircuit solicită foarte mult, atît termic cît și mecanic, aparatele montate în circuit. Pentru ca defectul o dată apărut să nu se agraveze, este neapărat necesar ca, pînă la întreruperea scurtcircuitului de către aparatele de protecție, toate aparatele montate în circuit să suporte fără deteriorări aceste solicitări.

De aceea, *pentru ca aparatele să se aleagă corect în raport cu solicitările* la care vor trebui să reziste în locul în care urmează a fi montate în rețea, în momentul alegerii aparatului se efectuează două verificări:

— se determină prin calcul valoarea cea mai mare posibilă a curentului de scurtcircuit în acel loc;

— se verifică, pe baza documentației tehnice a aparatului dacă acesta este capabil să suporte solicitările mecanice și termice determinate de acest curent de scurtcircuit.

În acest scop, în documentația tehnică a aparatelor (îndeosebi a celor de înaltă tensiune) sînt indicate, de către firma constructoare, două valori: *curentul limită dinamic* și *curentul limită termic.*

● **Curentul limită dinamic** *exprimă capacitatea unui aparat de a rezista acțiunii mecanice a curenților de scurtcircuit, și reprezintă amplitudinea celui mai mare curent de scurtcircuit, exprimat în* kA_{max}, *care poate trece prin aparat, fără să producă deteriorări sau deformații permanente,* care ar putea să împiedice buna funcționare în viitor a acestuia.

Este neapărat necesar ca, pentru toate aparatele montate într-un circuit, curentul limită dinamic garantat de constructor să fie superior celui mai mare curent de scurtcircuit de şoc care poate să apară în acel punct al reţelei unde urmează să fie conectat aparatul.

Dacă documentaţia tehnică a aparatului lipseşte şi valoarea curentului limită dinamic nu este indicată nici pe plăcuţa indicatoare, pentru întreruptoarele automate această valoare se poate calcula aproximativ din puterea de rupere.

Valoarea cea mai mare a curentului de scurtcircuit *de durată* (permanent) I_p, pe care aparatul o poate suporta, este dată de relaţia:

$$I_p \leqslant I_r = \frac{P_r}{\sqrt{3} \cdot U_n} \text{ [kA]}, \tag{7.2}$$

în care:

I_r este valoarea garantată a curentului la rupere, în kA;
P_r — puterea de rupere, în MVA;
U_n — tensiunea nominală, în kV.

Valoarea curentului limită dinamic se poate calcula cu relaţia:

$$I_{din} = i_{soc} = 1{,}8\sqrt{2}I_p = 2{,}55I_p.$$

Aplicaţie. Pentru un întreruptor automat de 15 kV, avînd puterea de rupere de 400 MVA, se obţine curentul de rupere:

$$I_r = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 15} = 15{,}4 \text{ kA} \geqslant I_p$$

acesta trebuie să fie mai mare sau cel puţin egal cu valoarea curentului de scurtcircuit permanent al reţelei în locul de montare a întreruptorului.

Curentul limită dinamic al aparatului va fi:

$$I_{din} = 2{,}55 \cdot 15{,}4 = 39{,}25 \text{ kA}_{max} \approx 40 \text{ kA}_{max}.$$

● **Curentul limită termic** *exprimă capacitatea unui aparat de a rezista acţiunii termice a curenţilor de scurtcircuit şi indică valoarea celui mai mare curent de scurtcircuit,* exprimat în kA_{ef}, *pe care îl poate suporta un anumit timp* (1; 5; 10 s), *fără ca temperatura pieselor conducătoare de curent să depăşească anumite valori maxime permise.*

Deoarece durata solicitării aparatelor prin curenţi de scurtcircuit este foarte mică, se admit în acest caz temperaturi ale pieselor conducătoare de curent mai înalte decît funcţionarea de regim.

D. CURENŢI DE SUPRASARCINĂ

1. SUPRACURENŢI LA SUPRAÎNCĂRCAREA MOTOARELOR

Aparatele care urmează a fi montate într-un circuit se aleg astfel încît curentul lor nominal să fie superior celui mai mare curent de serviciu care poate să apară în condiţii normale în acel circuit.

În cazul unor suprasarcini mari și îndelungate, izolația aparatelor se distruge treptat sub acțiunea căldurii și defectul se poate agrava, provocînd incendii prin scurtcircuite.

● **Măsuri de protecție.** Pentru a se evita efectele suprasarcinii, întreruptoarele automate de protecție a instalației se prevăd (îndeosebi în rețelele de joasă tensiune, unde suprasarcinile sînt mult mai frecvente și mai periculoase) cu *relee speciale de protecție împotriva suprasarcinilor.*

Aceste relee sînt astfel dimensionate, încît să determine întreruperea circuitului într-un timp cu atît mai scurt, cu cît suprasarcina este mai mare, și anume: întreruperea este provocată după circa două ore, pentru o suprasarcină de ordinul 1,2 I_n, și după mai puțin de două minute, pentru o suprasarcină de ordinul a 1,5 I_n. Se lasă în mod intenționat un timp de declanșare mai mare la suprasarcini mici, deoarece acestea sînt mai puțin periculoase pentru aparatele montate în circuit și se poate astfel evita declanșarea, dacă suprasarcina dispare după un timp suficient de scurt.

2. SUPRACURENȚI LA FUNCȚIONAREA MOTOARELOR CU O FAZĂ ÎNTRERUPTĂ

O formă particulară de suprasarcină o constituie funcționarea cu o fază întreruptă a motoarelor electrice trifazate.

Dacă arderea, cu ocazia unei suprasarcini, a unei singure siguranțe, se produce în timp ce motorul se află în mers, acesta continuă să se rotească, funcționînd ca motor monofazat, dar în această situație absoarbe de la rețea un curent mai mare decît în regimul normal, putînd ajunge la 1,2 ... 2 I_n în funcție de valoarea momentană a sarcinii.

● **Măsuri de protecție.** Cum acest defect se manifestă tot ca o suprasarcină, cu aceleași urmări, el va putea fi înlăturat pe aceleași căi ca în cazul supraîncărcării motoarelor (prin relee de suprasarcină), sau *prin relee speciale construite să sesizeze funcționarea motorului cu alimentare numai pe două faze.*

○ **Trebuie reținut** însă faptul că, dacă sarcina este mică, motorul poate funcționa mult timp cu o fază întreruptă, fără ca protecția să sesizeze defectul; dacă se încearcă, însă, după o oprire normală, repornirea motorului, se constată că acesta nu poate porni, dar absoarbe de la rețea un curent foarte mare, care provoacă arderea bobinajului.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Enumerați tipurile de supracurent indicînd: mărimea, durata, cauzele care le provoacă și efectele lor în instalație.
2 — Care sînt modalitățile de reducere a supracurenților ce apar la pornirea motoarelor electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit?
3 — Care este pericolul cel mai mare pe care îl constituie întreruperea unei faze — prin arderea unei siguranțe — în sisteme trifazate?
4 — Care este deosebirea între „curentul de scurtcircuit de șoc" și „curentul limită dinamic"?

Capitolul 8

ARCUL ELECTRIC

● A. ARCUL ELECTRIC DE ÎNTRERUPERE. ● B. DESCĂRCĂRI ELECTRICE ÎN GAZE. CARACTERISTICA VOLT-AMPER A DESCĂRCĂRII ● C. EXPLICAREA CONDUCTIVITĂȚII GAZELOR ● D. PRINCIPIUL STINGERII ARCULUI ELECTRIC

A. ARCUL ELECTRIC DE ÎNTRERUPERE

La separarea contactelor unui aparat electric, se succedă într-un timp scurt următoarele fenomene (fig. 8.1):

— pe măsură ce contactele se îndepărtează, suprafața reală de contact scade foarte mult, ajungîndu-se ca întregul curent din circuit să treacă printr-un singur punct de contact;

— în acest punct de contact, densitatea de curent este atît de mare, încît metalul este încălzit *pînă la topire;*

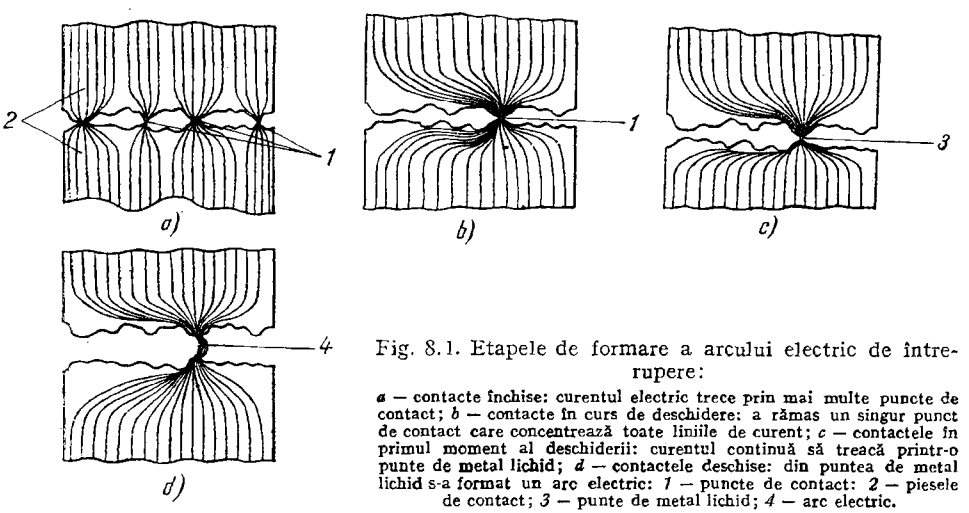


Fig. 8.1. Etapele de formare a arcului electric de întrerupere:

a — contacte închise: curentul electric trece prin mai multe puncte de contact; *b* — contacte în curs de deschidere: a rămas un singur punct de contact care concentrează toate liniile de curent; *c* — contactele în primul moment al deschiderii: curentul continuă să treacă printr-o punte de metal lichid; *d* — contactele deschise: din puntea de metal lichid s-a format un arc electric: *1* — puncte de contact: *2* — piesele de contact; *3* — punte de metal lichid; *4* — arc electric.

— îndepărtînd mai mult contactele *puntea de metal* lichid se subțiază și, în cele din urmă, datorită încălzirii din ce în ce mai mari provocate de trecerea curentului, se *vaporizează*;

— existența, într-un spațiu foarte redus, a unei cantități mari de vapori metalici și a unor electrozi puternic încălziți, creează condițiile apariției între contacte a unui *arc electric*, prin care curentul din circuit continuă să circule. În această situație, aerul — considerat în mod obișnuit izolant — devine conducător de electricitate.

Oricare ar fi cauza apariției arcului electric, el constituie întotdeauna **o porțiune a unui circuit electric**, *formată din gaze puternic ionizate, prin care trece un curent electric de o anumită valoare.*

— **Arcul electric de sudură.** La executarea unei suduri electrice se produc aceleași fenomene ca la separarea contactelor unui întreruptor. La îndepărtarea electrodului de piesă. apare brusc, între acesta și piesă, *un arc electric*.

Deosebirea între arcul electric de sudură și arcul electric care apare în întreruptoare, constă îndeosebi în următoarele:

— *curentul* ce străbate arcul electric din întreruptoare poate atinge, la scurtcircuite, cîteva mii de amperi, în timp ce arcul electric de sudură are cîteva sute de amperi;

— *tensiunea* ce alimentează arcul electric în întreruptoarele de înaltă tensiune poate atinge sute de kilovolți, în timp ce arcul electric de sudură este alimentat la o tensiune de cîteva zeci de volți;

— *durata* arcului electric în întreruptoare este foarte mică (cîteva sutimi de secundă), și de aceea el nu poate fi studiat decît cu aparate speciale de fotografiere rapidă și cu oscilografe capabile să înregistreze fenomene foarte rapide.

○○○ *Deoarece fenomenul descărcării prin arc prezintă cel mai mare interes pentru înțelegerea funcționării aparatelor electrice în general și a celor de întrerupere în special, acest capitol prezintă o importanță deosebită.*

B. DESCĂRCĂRI ELECTRICE ÎN GAZE. CARACTERISTICA VOLT-AMPER A DESCĂRCĂRII

Din cele relatate mai înainte rezultă că aerul, care în mod obișnuit, este un izolant, poate fi totuși uneori conducător de electricitate. Pentru înțelegerea fenomenului vor trebui analizate procesele fizice care se produc în cazul descărcărilor electrice în gaze.

Pentru studiul descărcărilor electrice în gaze se consideră un circuit de curent continuu (fig. 8.2) forma din: sursa B, rezistența ohmică reglabilă R

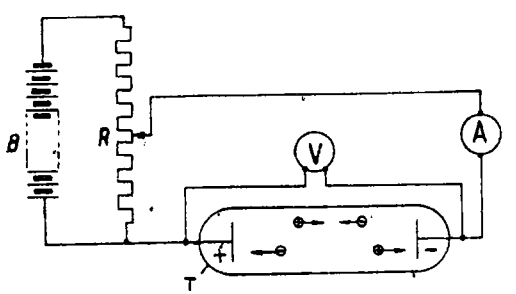


Fig. 8.2. Circuit pentru studiul descărcărilor electrice în gaze.

și tubul T cu doi electrozi, umplut cu un gaz la presiune joasă (de exemplu un tub cu neon). Un aparat de sensibilitate corespunzătoare (un galvanometru sensibil, un ampermetru), indică valoarea curentului în circuit, iar un voltmetru indică tensiunea la bornele tubului.

Dacă se aplică o tensiune din ce în ce mai mare între electrozii tubului, se constată următoarele:

— la început aparatul arată că în circuit, deci și prin spațiul gazos dintre electrozii tubului, circulă un curent extrem de mic, a cărui valoare crește odată cu creșterea tensiunii aplicate (fig. 8.3, porțiunea *ab*);

— la un moment dat, deși tensiunea aplicată tubului crește, valoarea curentului care trece prin circuit rămîne constantă (fig. 8.3, porțiunea *bc*);

— mărindu-se mai departe tensiunea, la un moment dat curentul începe să crească din nou odată cu creșterea tensiunii (fig. 8.3, porțiunea *cd*);

— mărindu-se și mai mult tensiunea, se constată o creștere a curentului, însoțită de o scădere a tensiunii aplicate *pe tub* (fig. 8.3, porțiunea *de*); în același timp, în vecinătatea electrodului negativ (catod) se constată apariția unei luminozități;

— urmează o porțiune (*ef*) în care curentul ce trece prin circuit crește, căderea de tensiune pe tub rămînînd însă constantă (cîteva zeci pînă la cîteva sute de volți, în funcție de lungimea tubului, presiunea gazelor etc.). Paralel cu creșterea curentului crește și suprafața petei luminoase din vecinătatea catodului;

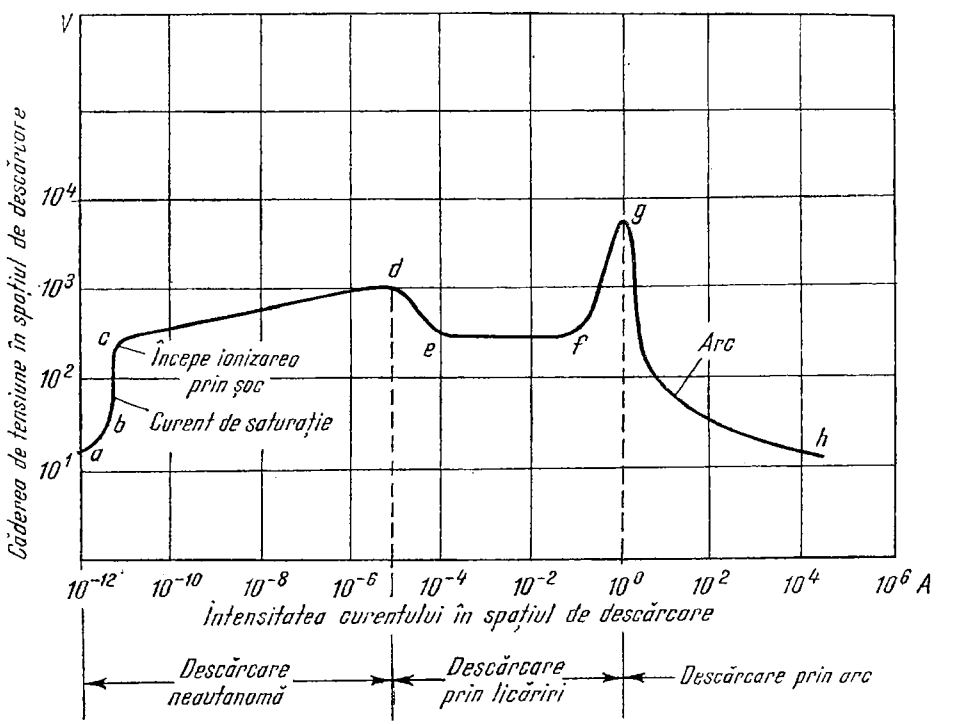


Fig. 8.3. Caracteristica volt-amper (tensiune-curent) a unei descărcări electrice în gaze.

— din momentul în care întreaga suprafață a catodului a fost acoperită de pata luminoasă, creșterea curentului este însoțită de o creștere a căderii de tensiune pe tub (fig. 8.3, porțiunea *fg*);

— mărindu-se mai departe tensiunea aplicată pe tub, se constată creșteri bruște ale curentului, însoțite de o luminozitate mult mai intensă și ocupînd o zonă mai mare din spațiul gazos din vecinătatea catodului;

— *în cele din urmă, spațiul dintre electrozii tubului este străpuns prin amorsarea unui* **arc**, *întregul tub se umple cu o coloană luminoasă, curentul în circuit crește la valori foarte mari, iar căderea de tensiune pe tub scade odată cu creșterea curentului.*

○ Din cele expuse pînă aici **trebuie reținute următoarele**:

• gazele prezintă totdeauna o anumită *conductivitate* electrică, dar aceasta a este atît de *mică* încît, în condiții obișnuite, aerul și în general gazele sînt foarte buni izolanți;

• *dacă tensiunea aplicată între electrozi depășește anumite valori, gazele devin bune conducătoare de electricitate,* transportul electricității prin gaz făcîndu-se sub forma unei șuvițe foarte luminoase și foarte calde, care se numește *arc electric*;

• *trecerea de la starea de izolant la cea de bun conducător* (arc electric) *are loc prin diferite faze,* în funcție de valoarea tensiunii aplicate și de natura și presiunea gazului, fiecare fază reprezentînd o formă particulară de conductivitate electrică prin gaze (numite și *forme de descărcări electrice în gaze*).

C. EXPLICAREA CONDUCTIVITĂȚII GAZELOR

Se știe că atomul oricărui corp este format dintr-un nucleu și din mai mulți electroni care se rotesc în jurul acestuia pe anumite trasee, numite orbite (fig. 8.4).

Electronul este încărcat cu o cantitate de electricitate negativă, iar nucleul este încărcat cu o cantitate de electricitate pozitivă. În condiții normale, cantitatea de electricitate negativă a tuturor electronilor unui atom compensează cantitatea de electricitate pozitivă a nucleului acestuia, astfel încît, față de mediul exterior, atomul este neutru din punct de vedere electric.

Dacă însă printr-un procedeu oarecare se smulge atomului un electron, sarcina electrică a atomului nu mai este nulă (atomul nu mai este neutru din punct de vedere electric), ci el apare ca fiind încărcat cu o anumită cantitate de electricitate pozitivă.

Se numește *ion pozitiv* * un astfel de *atom căruia i s-a smuls un electron* și care, drept consecință, apare încărcat cu o anumită cantitate de electricitate pozitivă.

● Orice proces prin care se realizează smulgerea electronilor de pe orbitele lor, cu formarea de electroni liberi și ioni pozitivi, poartă numele de **ionizare.**

* Există și *ioni negativi*, formați prin captarea unui electron liber de către un atom neutru sau de o particulă solidă aflată în suspensie în gaz, dar aceștia au, în cazul prezentat, o importanță mult mai mică și nu vor fi cercetați aici.

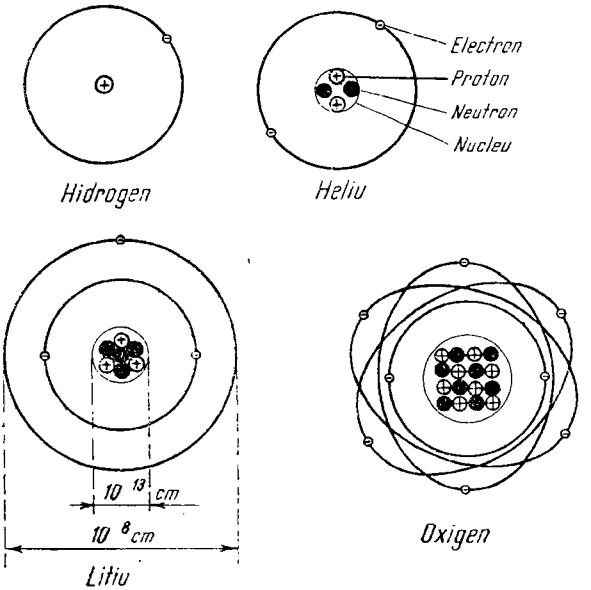


Fig. 8.4. Reprezentare schematică a constituției unor atomi: în centru este nucleul, format din protoni încărcați pozitiv și neutroni lipsiți de sarcină electrică; în jurul nucleului se rotesc electronii — încărcați negativ, în număr egal cu protonii.

Un gaz în care au apărut electroni liberi și ioni devine ionizat. În această stare, gazul își pierde proprietățile izolante și devine conducător de electricitate, conductivitatea sa fiind cu atît mai mare, cu cît gazul este mai puternic ionizat.

Ionizarea se poate realiza pe diferite căi:

- *prin ciocnirea unui electron avînd viteză*, și deci energie cinetică *mare, cu un atom neutru* (ionizare prin șoc);
- *sub acțiunea temperaturilor foarte înalte* (ionizare termică);
- *sub acțiunea radiațiilor cu conținut mare de energie* (raze cosmice, raze gama);
- *ca urmare a radioactivității naturale.*

Razele cosmice și radioactivitatea naturală determină în permanență o anumită ionizare a aerului, care se menține însă la un nivel foarte redus, deoarece, în paralel cu procesele de ionizare, se produc și procese de recombinare a particulelor electrizate, astfel încît durata de viață a acestora este extrem de mică.

Dacă ciocnirea între două particule nu a fost suficient de puternică pentru a produce desprinderea unui electron, ea poate totuși provoca deplasarea unui electron de pe o orbită pe alta. Acest electron revine după un timp foarte scurt pe vechea sa orbită, eliberînd cu această ocazie, sub formă de radiație luminoasă de anumită lungime de undă (de o anumită culoare), toată energia pe care a absorbit-o cînd a fost deplasat de pe orbita sa. Aceasta este explicația luminescenței care se observă la descărcările electrice în gaze. Culoarea luminii produse astfel este dependentă de natura gazului în care se produce

descărcarea (roşie-portocalie pentru neon, albastră pentru vaporii de mercur etc.).

● **Descărcarea prin arc electric. Plasma.** Să reanalizăm acum, cunoscînd fenomenul de ionizare, experienţa reprezentată în figura 8.2:

— în spaţiul din interiorul tubului T se găseşte totdeauna un mic număr de electroni liberi şi ioni pozitivi, produşi prin acţiunea radiaţiilor cosmice şi a radioactivităţii naturale;

— dacă se aplică o tensiune între electrozii tubului T, particulele ionizate se vor deplasa: electronii, a căror sarcină electrică este negativă, sînt atraşi de electrodul de polaritate pozitivă (numit anod), iar ionii pozitivi sînt atraşi de electrodul de polaritate negativă (numit catod);

— în felul acesta, în spaţiul dintre electrozi se formează un curent electric, la început extrem de slab. Pe măsura creşterii tensiunii sînt captaţi din ce în ce mai mulţi din electronii liberi produşi de cauze externe; spaţiul de descărcare şi curentul în circuit cresc aproape proporţional cu tensiunea aplicată * (fig. 8.3, porţiunea *ab*);

— la un moment dat, se ajunge la situaţia în care practic toate particulele ionizate produse în spaţiul dintre electrozi prin acţiunea surselor ionizate externe sînt captate de electrozi. Din acest moment, chiar dacă se măreşte tensiunea, valoarea curentului din circuit rămîne constantă (fig. 8.3, porţiunea *bc*). Acest curent constant este numit *curent de saturaţie*;

— pe porţiunea *bc*, la creşterea mai departe a tensiunii aplicate, curentul rămîne constant, dar creşte viteza cu care particulele electrizate (îndeosebi electronii) sînt atrase către electrozi, astfel încît, la o anumită valoare a tensiunii, viteza electronilor este atît de mare încît la ciocnirea cu un atom neutru izbutesc să-i smulgă acestuia un electron. Acest fenomen *(ionizarea prin şoc)* se manifestă printr-o creştere a curentului, deoarece la particulele ionizate prin acţiunea cauzelor externe se adaugă cele produse prin ciocnire ** (fig. 8.3, porţiunea *cd*);

— la început numai electronii, fiind mai uşori, capătă repede viteze mari, contribuind la ionizarea prin şoc. Pe măsură ce se măreşte tensiunea aplicată pe tub, şi ionii pozitivi capătă viteze atît de mari încît, îndeosebi la ciocnirea de peretele catodului, pot să elibereze electroni. Ionizarea spaţiului de descărcare devine astfel mult mai energică şi se constată o creştere bruscă a curentului, însoţită de reducerea căderii de tensiune în spaţiul de descărcare (spaţiul de descărcare fiind mai puternic ionizat, rezistenţa acestuia este mult mai mică şi căderea de tensiune în tub, care este dată de produsul $R \cdot I$, scade). În figura 8.3 această fază a descărcării este ilustrată de porţiunea *de* ***;

---

* O astfel de descărcare se produce totdeauna între doi electrozi între care este aplicată o anumită tensiune, dar valoarea curentului electric care apare este extrem de mică şi nu poate fi măsurată cu aparatele uzuale. În mod practic, această formă de descărcare poate fi pusă în evidenţă prin descărcarea treptată a unui electrometru încărcat şi menţinut izolat, descărcare ce este mai lentă dacă se fereşte spaţiul din interiorul electrometrului de acţiunea unor surse de radiaţii şi de lumină şi este mult mai rapidă dacă se pune electrometrul în zona de acţiune a unei surse de radiaţii Roentgen.

** Această formă de descărcare este întîlnită la tuburile electronice normale (diode), cu deosebirea că, pentru a se favoriza fenomenele de ionizare, unul dintre electrozi (anodul) este încălzit pînă la incandescenţă.

*** În această zonă de descărcare funcţionează tuburile luminoase cu descărcări în gaze (neon, vapori de mercur, vapori de sodiu).

— pînă în faza aceasta, descărcarea s-a produs fără manifestări luminoase; la sfîrșitul fazei *de* însă, ionizarea în vecinătatea catodului este suficient de intensă, astfel încît în fața acestuia apare o mică pată luminoasă;

— dacă se deplaseaza mai departe cursorul reostatului R în sensul creșterii tensiunii, se constată că numai curentul din circuit crește, căderea de tensiune în tub rămînînd constantă (fig. 8.3, porțiunea *ef*). Paralel cu creșterea curentului, se constată extinderea petei luminoase de pe catod;

— în punctul *f* întreaga suprafață a catodului este acoperită de pata luminoasă și, din acest moment, creșterea curentului se produce simultan cu creșterea căderii de tensiune pe tub (fig. 8.3, porțiunea *fg*) *. În această fază, creșterea curentului în circuit se produce simultan cu creșterea densității de curent în vecinătatea catodului. Astfel crește energia degajată în vecinătatea catodului și acesta începe să se încălzească;

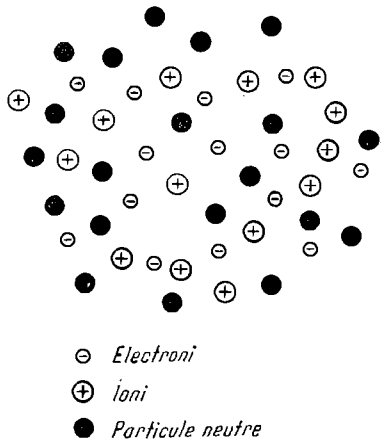


Fig. 8.5. Reprezentare schematică a compoziției plasmei (electroni, ioni și particule neutre, în permanentă agitație termică).

— în punctul *g* catodul s-a încălzit atît de mult, încît începe să emită electroni datorită temperaturii sale înalte. În momentul acesta emisiunea de electroni devine atît de puternică încît spațiul de descărcare devine foarte bun conducător de electricitate și descărcarea trece în faza de *arc* (fig. 8.3, porțiunea *gh*).

○ **Concluzii.** Descărcarea prin arc electric este caracterizată prin:

— *ionizarea foarte intensă a spațiului de descărcare;*

— *temperatură foarte înaltă a coloanei arcului și a capetelor acestuia* (6 000—7 000°C);

— *luminozitate extrem de intensă a coloanei arcului;*

— *caracteristica tensiune-curent negativă* (pe măsură ce intensitatea curentului care străbate arcul crește, căderea de tensiune la bornele acestuia scade).

○ **Observație.** Caracteristica negativă a arcului electric, în aer liber, se explică astfel: cu cît curentul în arc crește, se intensifică fenomenele de ionizare și secțiunea arcului crește, scăzînd astfel mult rezistența sa. Arcul electric se comportă deci ca un conductor cu secțiune variabilă.

Starea fizică a gazelor puternic ionizate, adică formate dintr-un amestec de ioni pozitivi (atomi cărora li s-a smuls un electron) electroni liberi, încărcați cu sarcină electrică negativă, și atomi neutri (fig. 8.5) este denumită **plasmă.**

Arcul electric este constituit din *plasmă fierbinte* **, ale cărei principale proprietăți sînt următoarele:

— conductibilitatea electrică variază foarte mult și foarte repede cu temperatura;

---

* Această descărcare, cu manifestare de licăriri luminoase în apropierea electrozilor, se constată, la tensiuni foarte mari, în vecinătatea vîrfurilor sau a firelor subțiri aflate sub tensiune, și poartă numele de „efect de coroană" sau „efect corona.

** Există și *plasmă rece*, adică gaze foarte rarefiate dar ionizate, așa cum se găsesc în spațiul interstelar.

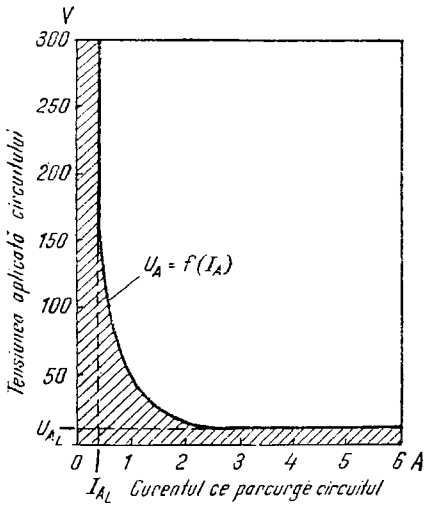


Fig. 8.6. Condiții limită de formare a arcului electric de întrerupere:
U_{A_L} — tensiunea limită de arc, sub care nu se formează arc electric, indiferent de valoarea curentului; I_{A_L} — curent limită de arc, sub care nu se formează descărcare prin arc electric, indiferent de valoarea tensiunii aplicate.

— sub influența unui cîmp electric exterior, particulele încărcate electric se deplasează spre polii de polaritate opusă, dînd naștere unui curent electric;

— sarcinile electrice ale diferitelor particule ionizate din interiorul plasmei se neutralizează între ele, astfel încît față de mediul exterior, plasma apare din punct de vedere electric, neutră.

Arcul electric nu se formează, deci, în orice condiții, existența lui fiind condiționată de anumiți factori, dintre care cei mai importanți sînt următorii:

— existența unei *tensiuni suficient de mari* între contacte, care să mențină ionizarea prin șoc în coloana de arc;

— existența unui *curent suficient de mare* în circuit, care să mențină în stare de topire piciorul arcului și să compenseze procesele de deionizare din coloana de arc.

○ **Concluzii:**

— Există deci o *anumită valoare de tensiune* sub care separarea contactelor electrice se face *fără formare de arc electric,* indiferent cît de mare este valoarea curentului care străbate circuitul. Această valoare este de ordinul a 10 V, mărimea exactă fiind influențată de metalul din care sînt confecționați electrozii și de starea suprafeței acestora.

— Există de asemenea, o anumită *valoare de curent* sub care, indiferent cît de mare este tensiunea aplicată între electrozi, *descărcarea nu se produce sub formă de arc electric.* Acest prag se situează puțin sub 1 A (fig. 8.3).

Condițiile limită de formare a unui arc electric de întrerupere sînt ilustrate în figura 8.6. Pentru circuite electrice avînd perechile de valori (tensiune aplicată — curent prin circuit) situate în *zona haşurată, întreruperea are loc fără formare de arc electric* (acesta este domeniul electrotehnic numit „curenți slabi", spre deosebire de domeniul „curenți tari", caracterizat prin posibilitatea apariției arcului electric).

D. PRINCIPIUL STINGERII ARCULUI ELECTRIC

● **Deionizarea.** S-a arătat pînă aici, modul în care se formează particule ionizate și cum se dezvoltă descărcarea electrică în gaze. În spațiul de descărcare se petrec, în același timp cu procesele de ionizare, și *procese* inverse, *de deionizare,* prin care se reduce numărul de particule ionizate.

Astfel de *procese de deionizare* sînt:

— recombinarea între electronii liberi și ionii pozitivi, formîndu-se astfel noi atomi neutri. Această recombinare are loc cu degajare de energie;

— ieșirea electronilor din spațiul de descărcare și împrăștierea lor în spațiul înconjurător;

— captarea ionilor de particule grele care, avînd mobilitate redusă, nu participă la procesele de ionizare.

Metodele de stingere a arcului electric au toate la bază ideea deionizării rapide a coloanei arcului, prin diferite procedee de răcire a acesteia.

● Factorii care favorizează deionizarea

— Unul dintre factorii cei mai importanți de care depinde echilibrul dintre ionizare și deionizare este *temperatura spațiului de descărcare și a electrozilor*. Scăderea bruscă a temperaturii arcului și răcirea electrozilor au un rol deosebit de important în stingerea arcului electric. Răcirea artificială a electrozilor reduce mult emisia de electroni prin catod și favorizează stingerea arcului.

— Experiența arată că, în curent alternativ, temperatura coloanei de arc este cu mult mai joasă în *momentul trecerii curentului prin zero* decît în momentul cînd intensitatea curentului trece prin valoarea maximă; de aceea, stingerea curentului alternativ se realizează mult mai ușor decît a curentului continuu, folosindu-se în mod adecvat momentul trecerii curentului prin valoarea zero.

— Stingerea arcului electric este influențată și de *natura gazului în care se produce descărcarea*. Astfel, în hidrogen arcul se stinge mult mai ușor, deoarece hidrogenul este gazul cu cea mai mare conductibilitate termică și realizează o răcire energică a spațiului de descărcare.

— Deosebit de important pentru stingerea arcului este *materialul electrozilor*. Cu cît este mai înaltă temperatura de vaporizare a acestora, cu atît vor fi mai puțini vapori metalici în coloana de arc și arcul se va stinge mai ușor (vaporii metalici favorizează procesele de ionizare).

REZUMAT

● Trecerea curentului electric prin gaze este legată de prezența unor particule încărcate electric (ionizate), care sînt atrase de electrozii de polaritate opusă.

● Gazele trec de la starea de izolant la cea de bun conducător de electricitate prin diferite forme de descărcare, reprezentate în figura 8.3. În această figură, fiecare schimbare a alurii curbei reprezintă trecerea de la o formă de descărcare la alta. Astfel:

— în *b* toți electronii produși prin ionizare externă sînt captați de anod;

— punctul *c* marchează începutul ionizării prin șoc;

— în *d* catodul începe să emită electroni ca urmare a bombardării acestuia de către ionii pozitivi (începe emisia de electroni prin catod rece);

— punctul *e* marchează începutul luminescenței catodului;

— în punctul *g* catodul începe să emită electroni datorită temperaturii sale înalte (emisia prin catod cald) și începe descărcarea prin arc.

● Arcul electric este format din particule de gaz foarte puternic ionizate cu ajutorul cărora curentul electric este transportat prin gaz de la un electrod la celălalt.

● Starea fizică a gazelor puternic ionizate poartă denumirea de plasmă.

PARTEA A TREIA

ELEMENTE PRINCIPALE FOLOSITE ÎN CONSTRUCȚIA APARATELOR ELECTRICE

- Contacte electrice
- Izolatoare electrice
- Termobimetale
- Electromagneți
- Redresoare
- Elemente arcuitoare

Capitolul 9

CONTACTE ELECTRICE

● A. METODE DE ÎMBINARE A CONDUCTOARELOR ELECTRICE ● B. TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN SUPRAFEŢE DE CONTACT. REZISTENŢA DE CONTACT ● C. FACTORII CARE INFLUENŢEAZĂ MĂRIMEA REZISTENŢEI DE CONTACT ● D. TIPURI DE CONTACTE ● E. FORMA CONTACTELOR ● F. MATERIALE PENTRU CONTACTE ● G. ÎNTREŢINEREA CONTACTELOR

A. METODE DE ÎMBINARE A CONDUCTOARELOR ELECTRICE

Îmbinarea a două conductoare, în scopul realizării continuităţii unui circuit, se poate realiza în mai multe moduri: *prin sudare, prin lipire, prin strîngere cu şuruburi, prin simplă apăsare.*

● **Îmbinarea prin sudare** (fig. 9.1, *a*) se realizează încălzindu-se piesele respective, în zona de îmbinare, la temperaturi superioare punctului lor de topire; se obţine în felul acesta o îmbinare definitivă, cu rezistenţa mecanică foarte bună şi rezistenţă electrică foarte mică.

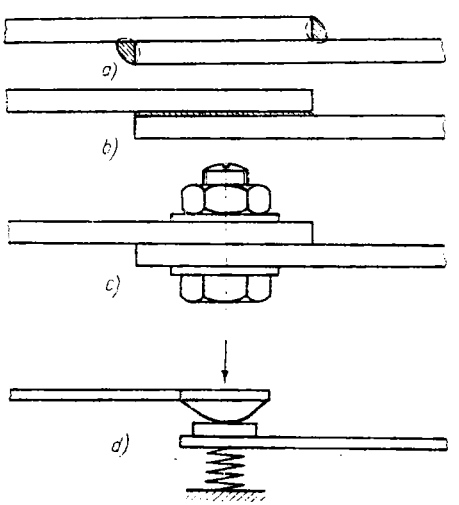


Fig. 9.1. Diferite metode de îmbinare a conductoarelor.

● **Îmbinare prin lipire** (fig. 9.1, *b*) se realizează cu ajutorul unui aliaj sau al unui metal, altul decît cel al pieselor care se îmbină, care are punctul de topire inferior temperaturii de topire a pieselor şi care, în stare topită, aderă bine la acestea.

Îmbinarea prin sudare şi cea prin lipire sînt, din punctul de vedere al trecerii curentului electric, cele mai bune, dar pot fi folosite numai acolo unde îmbinarea are un caracter *definitiv*.

● **Îmbinarea prin strîngere cu şuruburi** (îmbinare mecanică) se foloseşte acolo unde este necesară o legătură solidă, de lungă durată, dar demontabilă (fig. 9.1, *c*).

• **Îmbinarea prin simplă apăsare** a celor două conductoare, unul asupra celuilalt, este folosită acolo unde:

— este necesară stabilirea și desfacerea frecventă a legăturii electrice dintre cele două conductoare, așa cum se întîmplă de exemplu la aparatele de comutare, al căror rol este tocmai acela de a închide și deschide circuite electrice (fig. 9.1, *d*);

— în condiții normale de serviciu, circuitul electric trebuie menținut închis de către două organe aflate în mișcare unul față de celălalt, așa cum se întîmplă de exemplu:

— între colector și perii, la motoarele electrice cu colector;

— între inelele de contact și perii, la motoarele de curent alternativ cu rotorul bobinat (fig. 9.6, *c*);

— între troleu și firul de contact, la vehiculele de tracțiune electrică;

— între roțile acelorași vehicule și cale etc.

Îmbinarea prin strîngere cu șuruburi și cea prin simplă apăsare a conductoarelor se numesc **îmbinări prin contact.**

Suprafața de contact este *suprafața comună a două conductoare, prie care se realizează îmbinarea dintre ele, în scopul trecerii curentului de la un conductor la celălalt.*

Piese de contact sau **contacte** sînt *elementele de conductor special destinate să realizeze îmbinarea prin contact.*

B. TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN SUPRAFEȚELE DE CONTACT. REZISTENȚA DE CONTACT

Se consideră o bară de metal de secțiune uniformă S și lungime l (fig. 9.2, *a*); rezistența acestei bare este dată de relația $R = \rho \frac{l}{S}$, în care ρ este rezistivitatea materialului.

Dacă se taie această bară, se șlefuiesc plan suprafețele de tăiere, se reface bara punîndu-se cap la cap cele două bucăți și se apasă între ele, se constată că rezistența barei, măsurată pe aceeași lungime l, este mai mare decît era la bara netăiată. La rezistența R a barei s-a adăugat o rezistență R_c — *rezistența de contact* — produsă de faptul că bara nu mai este continuă, ci este alcătuită din două porțiuni distincte, separate între ele printr-o suprafață de contact (fig. 9.2, *b*).

Care este explicația acestei creșteri a rezistenței barei?

Cele două porțiuni, avînd suprafețele de îmbinare șlefuite s-ar părea că se ating pe toată secțiunea S. Dacă sînt privite însă la microscop suprafețele de contact, se constată că ele prezintă foarte multe asperități și, din această cauză, cele două porțiuni de bară, deși sînt apăsate una asupra celeilalte, nu se ating decît în cîteva puncte (fig. 9.2, *c*). Curentul electric este astfel obligat să treacă numai prin cîteva zone, de suprafață foarte mică; liniile de curent se concentrează spre aceste puncte, ca și cum, în apropierea suprafeței de contact, conductorul s-ar îngusta (fig. 9.2, *d*). Acest fapt explică creșterea rezistenței conductorului în zona de contact (apariția rezistenței de contact).

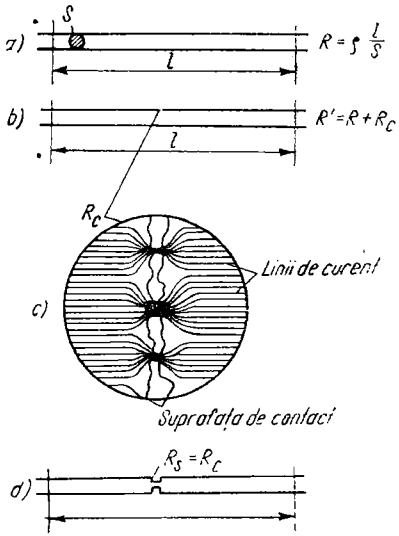


Fig. 9.2. Explicația apariției rezistenței de contact:

a — bară continuă; *b* — bară secționată; *c* — contactul real între cele două porțiuni ale barei (imagine mărită); *d* — reprezentare electrică echivalentă a barei secționate. R_C — rezistența de contact; R_s — rezistență de stricțiune.

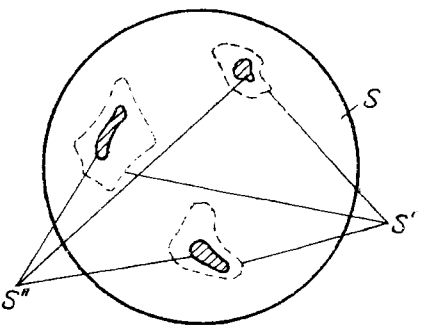


Fig. 9.3. Modul în care se realizează contactul dintre barele din figura 9.2:

S — suprafață aparentă de contact; S' — suprafață reală de atingere; S'' — suprafață efectivă de contact metalic.

Dacă se analizează mai atent suprafața de contact a două porțiuni de bară (fig. 9.3), se constată că:

— din *suprafața aparentă de contact* S, numai o mică parte S' este *suprafața reală de atingere* între cele două porțiuni de bară presate una asupra celeilalte (porțiunile închise cu linii întrerupte);

— chiar din suprafața de atingere S', numai o parte S'' (porțiunile hașurate) servește efectiv pentru trecerea curentului (restul suprafeței fiind format din pelicule izolante de oxizi sau impurități, care împiedică trecerea curentului electric);

— suprafața reală de contact electric S'' este deci numai o fracțiune din suprafața aparentă de contact S.

○ **Concluzie.** Suprafața reală de contact este cu atît mai mare, deci contactul electric este cu atît mai bun, cu cît forța cu care se apasă cele două contacte este mai mare și suprafețele de contact sînt mai curate.

Rezistența de contact este o manifestare nedorită și dăunătoare, deoarece:

— produce căderi de tensiune suplimentare în circuit;

— datorită densității mult mai mari a curentului în zonele de trecere, au loc încălziri care limitează posibilitățile de folosire a aparatelor.

Pentru aceste motive, în construcția aparatelor electrice se urmărește întotdeauna obținerea unor contacte bune, cu rezistență de contact cît mai redusă.

C. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ MĂRIMEA REZISTENȚEI DE CONTACT

Cunoscîndu-se cauzele pentru care, la îmbinarea a două conductoare, apare rezistența de contact, se vor analiza, în cele ce urmează, factorii care influențează mărimea rezistenței de contact:

— *forța de apăsare între contacte;*
— *forma contactului;*
— *materialul de contact;*
— *temperatura și factorii de mediu.*

1. INFLUENȚA PRESIUNII DE CONTACT

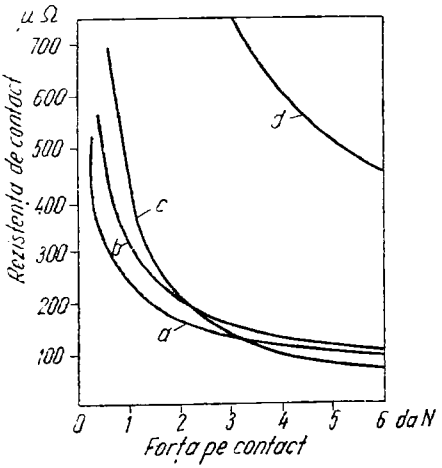


Fig. 9.4. Variația rezistenței de contact în funcție de apăsarea pe contact, pentru contacte de cupru:

a — contact punctiform; *b* — contact liniar; *c* — contact plan, cu suprafață de 1,6 cm², prelucrată normal; *d* — contact plan, cu suprafață de 1,6 cm², oxidată.

Dacă în cazul contactului reprezentat în figura 9.2, se mărește apăsarea exercitată, suprafața reală de atingere S' și suprafața reală de trecere a curentului S'' se măresc; prin zdrobirea peliculelor de oxizi și îndepărtarea impurităților, pot să apară și noi puncte de contact, ceea ce are ca rezultat o scădere a rezistenței de contact (fig. 9.4).

2. INFLUENȚA MĂRIMII SUPRAFEȚEI APARENTE DE CONTACT

Valoarea rezistenței de contact este determinată de mărimea suprafeței reale de contact și nu de cea a suprafeței aparente de contact, iar suprafața reală de contact nu depinde atît de mărimea contactului, cît de forța de apăsare a acestora.

Deci, pentru a se obține contacte electrice bune, este preferabil să se mărească forța de apăsare, nu suprafața pieselor de contact.

Este ușor de înțeles că nici presiunea pe contacte nu poate fi oricît de mare, ea fiind limitată de robustețea aparatului și a contactelor, de condiția de a nu provoca uzuri exagerate sau deformări ale pieselor de contact. Fiecărui material de contact îi corespunde o anumită *presiune optimă* de contact, peste care rezistența de contact nu va mai scădea (v. și fig. 9.4).

Pentru îmbinările prin șuruburi sînt recomandate, ca ordin de mărime, următoarele valori:

— cupru cositorit 50 ... 100 daN/cm²;
— cupru, alamă, bronz 60 ... 120 daN/cm²;
— aluminiu 150 daN/cm².

3. INFLUENȚA STĂRII SUPRAFEȚEI DE CONTACT

Dacă suprafața de contact este murdară sau acoperită cu oxizi izolanți, chiar dacă forța de contact este mare și se realizează o suprafață de atingere importantă, murdăriile sau stratul de oxizi împiedică trecerea curentului, suprafața reală de contact rămînînd mică, iar contactul nu este bun.

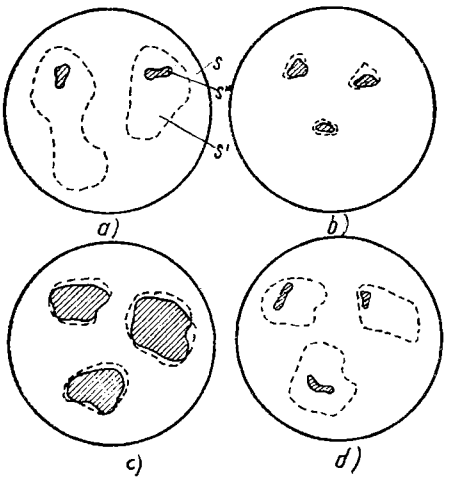


Fig. 9.5. Suprafețele de contact ale unor bare din metale diferite, avînd aceeași secțiune și aceeași apăsare de contact.

4. INFLUENȚA MATERIALULUI DE CONTACT

Să considerăm patru bare, ca cele din figura 9.3, de aceeași secțiune S, apăsate cu aceeași forță, dar executate din metale diferite: plumb *a*, wolfram *b*, argint *c* și aluminiu *d* (fig. 9.5).

Analizînd aspectul suprafeței de *contact* fiecăruia din metalele de mai sus, se constată că:

— plumbul, fiind un metal moale, suprafața de atingere S' este foarte mare, dar pelicula de oxizi și impurități nu este îndepărtată, astfel încît suprafața reală de contact S'' este mică (fig. 9.5, *a*);

— dimpotrivă, la barele de wolfram, care este un metal foarte dur, suprafețele de atingere S' sînt mai mici, dar oxizii și impuritățile sînt îndepărtate, astfel încît suprafața reală de contact S'' este mai mare (fig. 9.5, *b*) decît în cazul barelor de plumb;

— la barele de argint, ai cărui oxizi sînt buni conducători de electricitate și se pot îndepărta ușor, practic întreaga suprafață de atingere servește și pentru trecerea curentului (fig. 9.5, *c*), obținîndu-se cu ușurință contacte electrice bune;

— spre deosebire de argint, aluminiul are oxizii izolanți electrici și se îndepărtează foarte greu. La o suprafață de atingere S' relativ mare, corespunde o suprafață reală de contact S'' foarte mică (fig. 9.5, *d*). Pentru a se obține contacte electrice bune între piese de contact din aluminiu, trebuie luate măsuri speciale, care vor fi analizate ulterior.

5. INFLUENȚA TEMPERATURII CONTACTULUI ȘI A MEDIULUI AMBIANT

Dacă temperatura piesei de contact este prea mare, sînt favorizate procesele de oxidare a suprafeței de contact, ceea ce reduce suprafața reală de contact, mărește rezistența de contact și înrăutățește din ce în ce mai mult contactul electric.

Același lucru se poate produce dacă mediul în care se găsesc contactele este corosiv sau conțin mult praf.

○ **Rezultă** din cele de mai sus **că**, *pentru a se obține contacte electrice bune, trebuie alese cu grijă materialul și forma contactului, fiind de preferat metale mai dure, care nu se oxidează ușor sau ai căror oxizi sînt buni conducători de electricitate sau pot fi îndepărtați cu ușurință din zona de contact. Asigurarea curățeniei suprafeței de contact este un element esențial pentru a se obține contacte electrice bune și pentru a se evita încălziri exagerate. Mărirea presiunii de contact peste anumite valori nu mai contribuie la îmbunătățirea contactului electric, dar poate fi dăunătoare pentru funcționarea aparatului în ansamblu. Mărirea suprafeței pieselor de contact este practic lipsită de importanță.*

D. TIPURI DE CONTACTE

După modul de realizare a îmbinării de contact, se deosebesc trei tipuri de contacte:

- *contacte permanente* (fixe);
- *contacte de întrerupere;*
- *contacte de alunecare* (glisante).

1. CONTACTE PERMANENTE

Contactele permanente *rămîn întotdeauna închise în tim pulfuncționării instalației, avînd numai rolul de a realiza continuitatea circuitului.*

Ele realizează îmbinarea mecanică a conductoarelor, de obicei prin strîngere cu șuruburi (fig. 9.6, *a*).

2. CONTACTE DE ÎNTRERUPERE

Contactele de întrerupere *sînt folosite pentru stabilirea și întreruperea circuitelor.* Legătura între conductoare se realizează practic totdeauna prin apăsare *, cu ajutorul unor resoarte (fig. 9.6, *b*) sau prin arcuirea materialului din care este executată piesa de contact.

După funcția pe care o au în stabilirea și întreruperea circuitelor, contactele de întrerupere se împart în două categorii:

- *contacte de lucru,* numite și *contacte principale,* destinate să asigure un contact cît mai bun cît timp circuitul este închis. Aceste contacte trebuie să prezinte o rezistență mică de contact și să aibă asigurate condiții bune de răcire;
- *contacte de rupere,* sau *de stingere,* destinate să protejeze contactele de lucru împotriva uzurii prin arcul electric format la întreruperea și la stabilirea

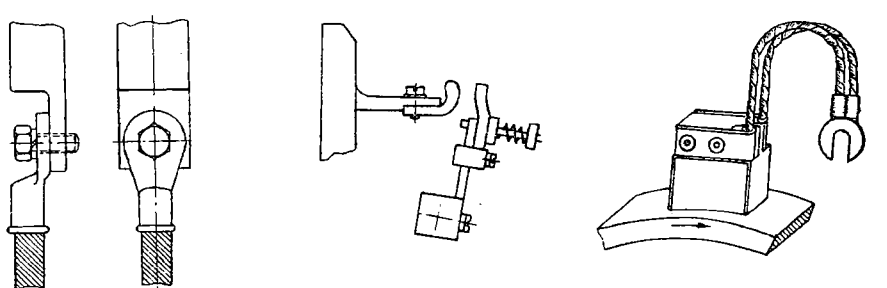


Fig. 9.6. Tipuri de contacte:
a — permanent; *b* — de rupere; *c* — de alunecare.

* Excepție fac numai contactele lichide cu mercur, care pot avea rolul de contacte de întrerupere, dar nu sînt contacte prin apăsare.

circuitului. La aceste contacte rezistența de contact poate să fie mult mai mare, deoarece contactul este în circuit pentru un timp foarte scurt, numai în momentul întreruperii și stabilirii circuitului. Se impun, însă, condiții de rezistență la uzarea prin arc electric și capacitate termică mare, pentru a nu se încălzi exagerat sub acțiunea arcului electric.

La aparatele care întrerup curenți mari (sute și mii de amperi) contactele de lucru și cele de rupere se execută ca piese distincte.

La aparatele care întrerup curenți mijlocii, aceeași piesă de contact este folosită atît drept contact de lucru, cît și drept contact de rupere. Adesea, piesa de contact este astfel realizată încît o anumită porțiune din suprafața ei să servească drept contact de lucru, iar pe altă porțiune să se formeze piciorul arcului de întrerupere. La curenți și tensiuni mici, unde la întrerupere nu se formează un arc electric, contactul de lucru servește și pentru întrerupere.

3. CONTACTE DE ALUNECARE

Contactele de alunecare *au rolul să stabilească un circuit electric între două piese de contact care se mișcă una față de alta* (de exemplu: între perii și inele la mașinile de curent alternativ cu inele, între perii și colector la mașinile de curent continuu și între troleu și firul de cale la vehiculele cu tracțiune electrică). În construcția aparatelor electrice sînt folosite relativ rar, îndeosebi în construcția unor reostate și controlere.

E. FORMA CONTACTELOR

Forma pieselor de contact diferă foarte mult de la un aparat la altul, dar oricare ar fi aceasta, contactele se încadrează din punctul de vedere al aspectului geometric al suprafeței de contact, în unul dintre următoarele trei tipuri: *contacte plane* (de suprafață), *contacte liniare* și *contacte punctiforme*.

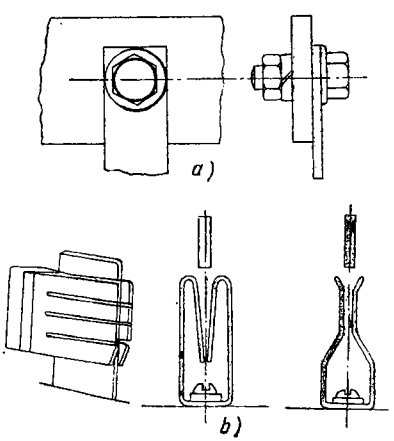


Fig. 9.7. Contacte de suprafață (plane):

a — legătură între bare plate; *b* — furci de contact pentru separatoare și siguranțe.

1. CONTACTE PLANE

Contactele plane (fig. 9.7) necesită, pentru aceeași suprafață reală de contact, presiuni de contact mult mai mari decît contactele liniare sau punctiforme; de aceea sînt utilizate foarte rar drept contacte de rupere. Sînt folosite foarte frecvent drept contacte permanente, deoarece oferă soluții constructive mai simple și mai sigure; strîngerea efectuîndu-se cu șuruburi, presiunea de contact necesară se obține mai ușor.

Se folosesc îndeosebi la îmbinarea barelor colectoare (fig. 9.7, *a*), la legături de conductoare prin papuci (v. fig. 9.6, *a*) și drept contact de lucru la unele separatoare și siguranțe (fig. 9.7, *b*).

2. CONTACTE LINIARE

Contactele liniare sînt acelea la care contactul electric se obține prin presiune și frecare; ele reprezintă soluția cea mai potrivită pentru contactele de cupru (frecarea asigurînd îndepărtarea peliculei de oxizi de pe suprafața de contact). Este forma de contact cea mai des întîlnită la aparatele de curenți tari.

Ca forme specializate de contacte liniare, se întîlnesc: *contactele-deget*, *lalea* (tulipă) și *perie*.

● **Contactele-deget** (fig. 9.8) sînt contacte liniare de presiune și frecare, foarte mult folosite în construcția întreruptoarelor de joasă tensiune în aer și a unor întreruptoare de înaltă tensiune în ulei. Servesc atît drept contact de lucru, cît și drept contact de rupere, deoarece, în momentul închiderii circuitului, contactul-deget execută simultan o frecare și o rostogolire pe piesa de contact opusă, realizîndu-se prin aceasta curățirea oxizilor și impurităților de pe suprafața de contact. Porțiunea din piesa de contact utilizată pentru stabilirea și întreruperea circuitului și care este mai puternic uzată prin acțiunea arcului electric, este diferită de porțiunea pe care se realizează contactul de lucru (fig. 9.8, *b*).

La întreruptoarele de înaltă tensiune cu ulei mult (fig. 9.8, *c*), pentru echilibrarea forțelor electrodinamice care solicită contactul, se folosesc de obicei perechi de degete așezate față în față.

Contactele-deget se execută întotdeauna din cupru tare, prin presare la cald în matrițe (fig. 9.8, *a*) sau prin tăiere din profile laminate, în forma dorită.

Lățimea unui deget este de 10 ... 12 mm, apăsarea pe contact de 6 ... ... 20 daN, iar încărcarea maximă — de 200 ... 250 A pentru o pereche de contacte în ulei și de 60 ... 80 A pentru un deget de contact în aer. La intensități mai mari se folosesc mai multe contacte-deget, în paralel (fig. 9.8, *c*).

● **Contactele lalea** (fig. 9.10), numite și contacte *tulipă* *, sînt contacte de lucru folosite îndeosebi în construcția aparatajului de înaltă tensiune (întreruptoare, celule debroșabile). Ansamblurile tip lalea sînt formate în principiu

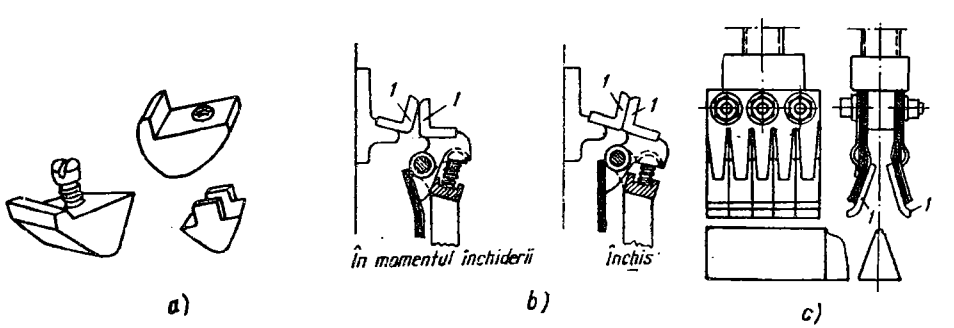


Fig. 9.8. Contacte-deget:

a — contacte-deget; *b* — ansambluri de degete pentru contactoare de joasă tensiune; *c* — ansamblu de degete pentru întreruptoare de înaltă tensiune în ulei; *1* — degete de contact.

* de la cuvîntul francez *la tulipe* = lalea

Fig. 9.9. Subansambluri de contacte deget pentru contactoare și controlere.

din 6—8 contacte din cupru, așezate circular ca petalele unei lalele, în jurul contactului fix. Construcția nu este simplă (fig. 9.11), dar este foarte potrivită pentru execuția în serie și asigură întotdeauna un contact bun, robust, insensibil la eforturi electrodinamice și vibrații.

● **Contactele perie** (fig. 9.12) se obțin prin înmănuncherea unui pachet de foi din material conductor avînd o elasticitate foarte bună (tombac sau bronz fosforos); contactul se realizează prin frecare pe o placă de cupru sau alamă. Această construcție realizează o foarte bună autocurățire a contactelor, ceea ce explică utilizarea lor drept contacte de lucru la anumite aparate la care se cer căderi mici de tensiune pe contact.

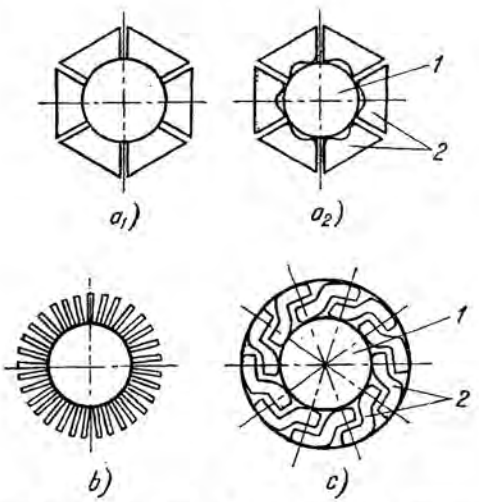


Fig. 9.10. Profiluri ale contactelor „lalea": *a* — contacte deget masive; *b* — cu contacte lamelare; *c* — cu contact în „z": *1* — contact mobil—tijă de cupru; *2* — contact fix — degete de cupru.

Contactele perie sînt în prezent din ce în ce mai puțin folosite, deoarece prezintă o serie de *neajunsuri*, și anume:

— sînt grele, voluminoase și costisitoare;

— nu pot întrerupe arcul electric, necesitînd pentru rupere un contact special;

— la scurtcircuite, repartiția curentului se face inegal, foile exterioare fiind deformate prin eforturi electrodinamice și deteriorate prin scîntei;

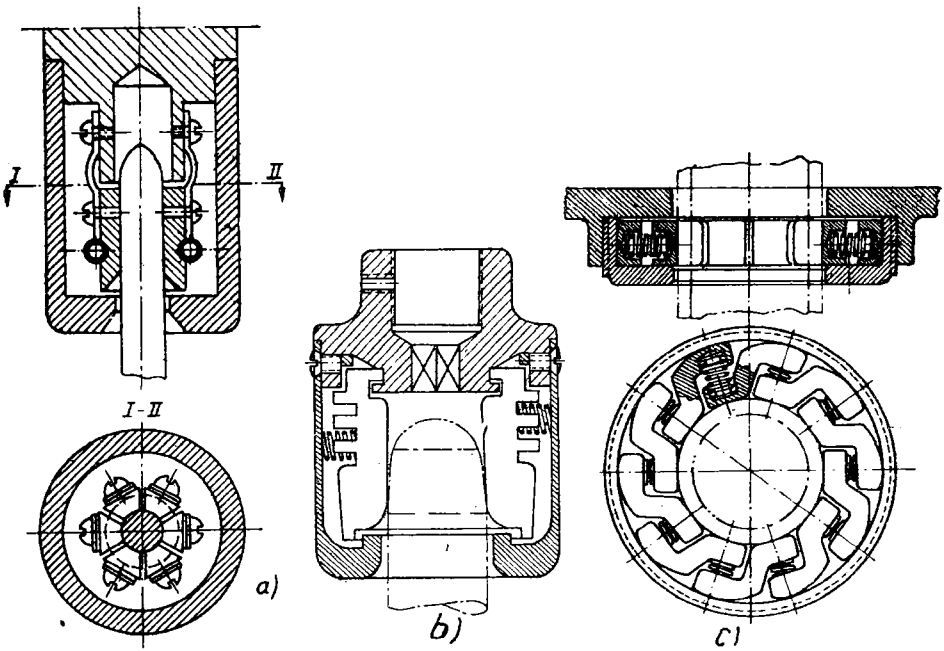


Fig. 9.11. Ansambluri ale contactelor tip „lalea":

a — cu contacte deget masive; *b* — cu contacte lamelare; *c* — cu contact în „z".

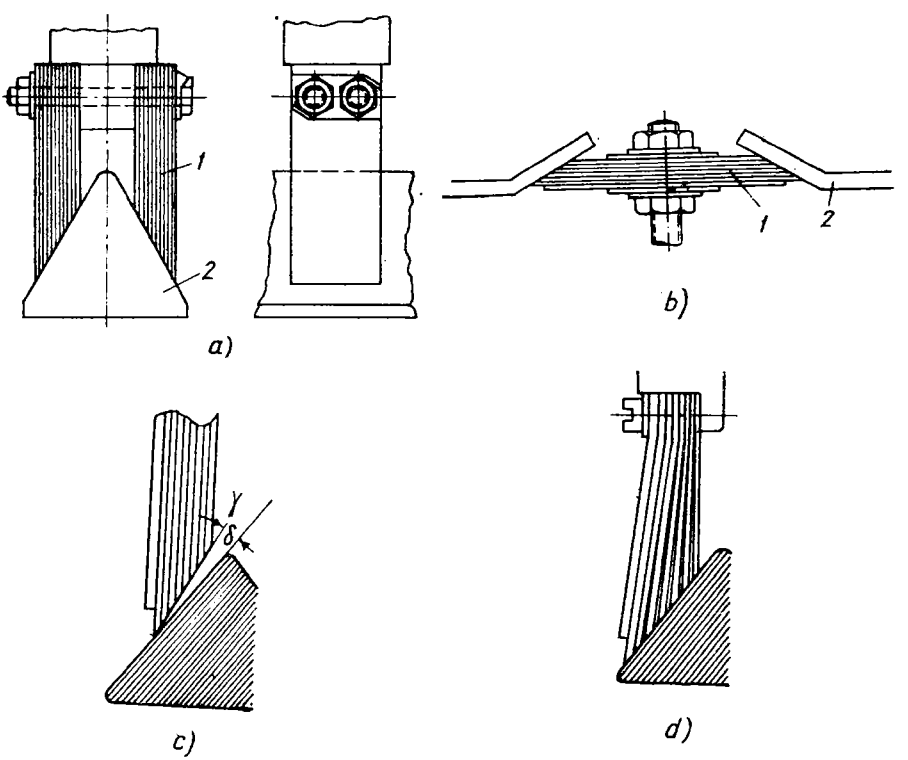


Fig. 9.12. Contacte tip „perie":

a și *b* — două forme de contacte perie; *c* — forma exactă a contactului *a*, puțin înainte de închidere; *d* — același contact în poziția „închis".

— pătrunderea murdăriei între lamele înrăutățește contactul, iar prin încălzire foile își pierd elasticitatea și contactul se înrăutățește din ce în ce mai mult;

— construcția este complicată și greu de realizat în serie mare.

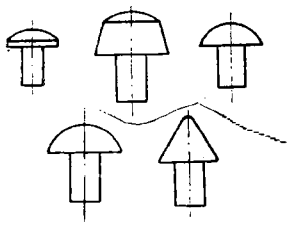


Fig. 9.13. Nituri de contact.

3. CONTACTE PUNCTIFORME

Contactele punctiforme sînt contacte de presiune fără frecare la închidere; ele prezintă avantajul unei construcții simple și a necesității unei apăsări reduse pentru contact.

Sînt folosite drept contacte de întrerupere, la curenți pînă la 15 A și tensiuni mici (la tensiuni mari, arcul electric de întrerupere duce la uzura rapidă a vîrfului de contact).

Realizarea contactului electric prin simplă apăsare, impune folosirea, ca material de contact, a unor metale care nu se oxidează ușor sau ai căror oxizi sînt buni conducători de electricitate (pentru aparatajul de curenți tari se folosește îndeosebi argintul).

Se realizează sub forma unor nituri de contact (fig. 9.13).

F. MATERIALE PENTRU CONTACTE

Pentru a fi bun ca material de contact, un metal sau aliaj trebuie să satisfacă următoarele **condiții**:

- *să aibă conductibilitatea electrică și conductibilitatea termică foarte bune,* pentru a reduce cît mai mult încălzirea pieselor în contact;
- *să aibă duritate suficientă,* pentru a suporta fără deformări solicitările mecanice care intervin în funcționare și pentru a permite înlăturarea ușoară a impurităților de pe suprafața de contact;
- *să nu se oxideze și să nu fie atacat de agenții chimici;*
- *temperatura sa de topire să fie cît mai ridicată,* pentru a rezista arcului electric de întrerupere;
- *să fie ușor de prelucrat și să aibă cost redus.*

Se constată însă, că nici unul dintre materialele de contact folosite în prezent nu satisface toate aceste condiții și, de aceea, în practică, se folosesc difeite materiale de contact, fiecare avînd aplicabilitate într-un anumit domeniu de utilizare.

1. CUPRUL

● Cuprul este unul dintre materialele de contact cele mai folosite. El prezintă următoarele **proprietăți**:

- *conductibilitate electrică și termică foarte bune;*
- *rezistență de contact redusă,* cînd suprafața de contact este curată;
- *rezistență la acțiunea arcului electric, la sudare și la uzură, superioară argintului;*

• *cost relativ redus*;

• *se oxidează în aer*, formînd compuşi care sînt rău conducători de electricitate şi foarte rezistenţi din punct de vedere mecanic, îndepărtîndu-se greu de pe suprafaţa de contact;

• este *lipsit de elasticitate* şi de aceea presiunea de contact se asigură folosindu-se în acest scop elemente arcuitoare separate.

● **Folosirea cuprului ca material de contact** este indicată în următoarele domenii:

• la aparatele cu întrerupere în aer, pentru contacte de întrerupere, acolo unde există suficientă presiune pe contact iar curăţirea stratului de oxid este asigurată prin manevre frecvente;

• la întreruptoare în ulei, unde pericolul de oxidare a contactelor este mult redus.

2. ARGINTUL

● **Proprietăţi**

• Avînd *cea mai mică rezistenţă de contact şi cea mai mare conductibilitate electrică şi termică*, argintul este unul dintre cele mai bune şi mai folosite metale de contact, atît la intensităţi mici, cît şi la intensităţi mari ale curentului.

La aceeaşi sarcină, contactele de argint au dimensiuni mai mici decît cele de cupru, de unde rezultă posibilitatea obţinerii unor aparate cu dimensiuni reduse şi cu viteze de deschidere mai mari, ca urmare a reducerii inerţiei pieselor mobile.

• Argintul *este foarte rezistent la acţiunea oxigenului şi a altor agenţi chimici; are o rezistenţă de contact mică şi constantă în timp.*

• *Oxizii* care se pot forma pe suprafaţa sa *sînt buni conducători de electricitate şi se pot îndepărta uşor.*

Datorită acestor proprietăţi, la contactele de argint presiunile de contact pot fi mici, fără a fi necesară frecare sau o întreţinere specială. Lucrînd în aer, în aceleaşi condiţii, durata contactelor de argint este de aproximativ zece ori mai mare decît cea a contactelor de cupru.

Pe lîngă aceste calităţi, ca material pentru contacte, argintul prezintă şi unele *dezavantaje:*

• *în atmosferă de sulf* (prezent întotdeauna în atmosfera industrială, ca urmare a arderii cărbunilor sau a păcurei) argintul *formează un strat de sulfit cu mare rezistenţă electrică, dar moale*, astfel încît poate fi îndepărtat uşor prin frecare sau presiune mai mare. Acest dezavantaj se resimte îndeosebi la curenţii slabi, unde nu se dispune de presiuni mari de contact şi unde creşterea rezistenţelor de contact poate împiedica funcţionarea corectă a aparatelor;

• *argintul are o rezistenţă mică la arcul electric şi favorizează menţinerea acestuia*; de aceea nu poate fi folosit drept contact de rupere decît la tensiuni joase.

● **Domenii de utilizare.** Avantajele şi dezavantajele de mai sus explică folosirea contactelor de argint în următoarele domenii:

— *contacte de întrerupere*, tip de presiune fără frecare, la aparatajul de întrerupere de joasă tensiune (contactoare şi relee), avînd curenţi nominali pînă la 10 ... 15 A (în domeniul 25 ... 400 A se folosesc contacte de „argint tare"

— aliaj de argint cu 3 ... 4% cupru — sau contacte de argint și oxid de cadmiu, asupra cărora se va reveni în cele ce urmează);

— *contactele de presiune*, fără a avea rol de întrerupere a curentului, la unele separatoare și siguranțe de medie tensiune de curenți nominali mari;

— *contacte de lucru și de întrerupere*, în tehnica curenților slabi, în condiții de lucru nu prea grele.

3. ALUMINIUL

● **Proprietăți.** Sub acțiunea oxigenului din atmosferă, aluminiul formează repede o peliculă izolantă electric și foarte rezistentă mecanic. De asemenea, el este puternic atacat sub acțiunea arcului electric. Pentru aceste motive, nu este deloc indicat să fie folosit drept contact de întrerupere. Se comportă însă destul de bine la contactele permanente de suprafață, dacă se iau măsuri speciale împotriva oxidării și a coroziunii și dacă presiunea de contact se asigură prin elemente elastice (aluminiul este moale, cedînd sub acțiunea șuruburilor de strîngere; de aceea, pentru a se menține presiunea necesară în contact, fără suprasolicitarea pieselor de contact, strîngerea se face prin intermediul unor elemente elastice).

● **Precauțiile cele mai importante ce trebuie luate la realizarea contactelor de aluminiu**, sînt următoarele:

— la contactele plane realizate cu șuruburi, este necesar să se asigure o presiune suficientă de contact (cel puțin 50 ... 100 daN/cm^2), pentru a asigura îndepărtarea peliculelor de oxid și realizarea unui contact metalic bun;

— toate conductele de aluminiu trebuie frecvent verificate, deoarece materialul se deformează, reducînd în felul acesta valoarea presiunii de contact;

— aluminiul suferă puternice coroziuni electrolitice în atmosferă umedă, în prezența altor metale, îndeosebi în prezența cuprului și a oxidului de fier. De aceea, realizarea contactelor de aluminiu trebuie făcută cu respectarea unor prescripții speciale, evitînd cu strictețe contactul cu alte metale și pătrunderea umezelii (asupra acestor probleme se va reveni într-un capitol următor).

4. METALE PREȚIOASE

În circuitele de curenți slabi, la contactele releelor și ale aparatelor folosite în telefonie și radiotehnică profesională, unde se cere o rezistență de contact foarte redusă chiar la presiuni mici, se folosesc contacte din metale prețioase (aur, platină, paladiu, rodiu și iridiu) sau aliaje ale acestora cu alte metale, în special cu argintul.

În aparatele electrice de curenți tari, aceste metale nu sînt folosite și de aceea nu se va insista asupra lor.

5. METALE DURE

● **Proprietăți.** Condițiile impuse materialului de contact, de a avea duritate mare și punct de topire ridicat, sînt cel mai bine îndeplinite de *wolfram*, un metal foarte dur, cu punctul de topire de 3410°C.

Wolframul se prelucrează foarte greu, se oxidează în aer și are rezistență electrică mare; de aceea, nu este folosit decît pentru contacte de rupere, îndeosebi la întreruptoarele de înaltă tensiune, acolo unde se cere rezistență mare la uzură prin arc electric.

Wolframul este casant și nu poate fi prelucrat prin așchiere.

● **Tehnologia de fabricare a contactelor de wolfram** este diferită de a celorlalte metale, și anume:

— se pornește de la pulbere de wolfran, care este presată mai întîi în forma unor bare;

— aceste bare sînt supuse unei operații de presinterizare în cuptoare electrice cu atmosferă de hidrogen la 1500°C; prin presinterizare, barele capătă o anumită rezistență mecanică, necesară operațiilor ulterioare;

— în continuare, barele sînt încălzite la 3000°C în atmosferă protectoare de hidrogen, încălzirea realizîndu-se prin trecerea curentului electric prin barele de wolfram presinterizate. În timpul acestei operații, barele se contractă mult;

— urmează o operație de batere la cald (900 ... 1200°C) cu ajutorul unor mașini speciale de bătut circular;

— din barele astfel obținute se decupează, cu ajutorul unor discuri abrazive cu mare turație, plăcuțe de wolfram avînd un diametru de 2 ... 10 mm, care se lipesc pe plăci de contact, suport.

6. MATERIALE DE CONTACT REALIZATE PRIN ASOCIEREA MAI MULTOR MATERIALE

● După **proprietățile** lor ca materiale de contact, metalele se pot împărți în trei grupe:

— *metale cu mare conductibilitate* electrică și termică, dar cu duritate și rezistență chimică relativ reduse (cupru și argint);

— *metale prețioase* cu mare stabilitate chimică și rezistență de contact foarte mică, dar cu rezistență mecanică redusă și foarte scumpe (aur și platină);

— *metale dure* (wolfram și molibden) cu rezistență mare la arcul electric, dar și cu rezistență mare de contact.

Pentru a se obține contacte cît mai bune, ușor de prelucrat și la un preț redus, s-au asociat între ele două sau mai multe metale, astfel încît să se însumeze însușirile lor și să se anihileze pe cît posibil defectele.

● **Procedeele folosite pentru a se obține contacte electrice prin asocierea mai multor metale** sînt următoarele:

- folosirea unor *aliaje*, ca material de contact;
- folosirea *contactelor sinterizate*;
- folosirea *contactelor bimetalice*;
- *acoperirea galvanică sau chimică* a suprafețelor de contact.

a. Aliaje de contact

Cele mai importante aliaje de contact sînt aliajele cuprului: *alama*, *tombacul* și *bronzurile*.

● **Alama** (aliaj de cupru cu zinc) se oxidează mai repede decît cuprul și are rezistența electrică și rezistența de contact mult mai mari decît cele ale

cuprului; de aceea nu este folosită decît rareori pentru contacte de lucru. Este folosită însă pentru contacte de rupere la unele întreruptoare de joasă tensiune, deoarece între un contact de cupru și un contact de alamă se constată cea mai mică tendință de sudare, cînd acestea sînt străbătute de curenții mari de la închidere.

● **Tombacul** (alamă cu conținut mare de cupru) și bronzul (aliaj de cupru și staniu) sînt folosite sub formă de lamele de contact cu arcuire proprie la unele aparate de comutare de joasă tensiune (chei de comandă comutatoare, întreruptoare pachet).

● **Bronzul de beriliu** (1,7% Be) este unul dintre cele mai bune materiale arcuitoare pe bază de cupru. El prezintă, în raport cu tombacul și bronzurile de staniu, avantaje și dezavantaje.

Tombacul și bronzurile normale își pierd la temperatura de 200°C proprietățile arcuitoare, ceea ce împiedică în mare măsură folosirea lor ca suport elastic și bun conducător de elasticitate al unor piese de contact care se fixează pe suport prin lipire. Spre deosebire de acestea, bronzul cu beriliu, supus unui tratament termic la 325 °C timp de 1 ... 4 h își menține proprietățile de elasticitate chiar dacă a suportat anterior temperaturi de lipire mult mai ridicate. Bronzul cu beriliu este unul dintre cele mai bune materiale-suport.

Proprietățile arcuitoare foarte bune ale bronzului cu beriliu se obțin numai dacă tehnologia de la realizarea aliajului și pînă la tratamentul termic final este respectată cu strictețe.

Această condiție și prețul de cost ridicat (de circa 10 ori mai mare decît al bronzului cu staniu) constituie dezavantajele sale.

● La aparatele de întrerupere de joasă tensiune se folosește ca material de contact aliaj de argint cu 2 ... 4% cupru, numit **argint tare.** Acest aliaj are, față de contactele de argint pur, o duritate mare și rezistență mai mare la sudură.

b. Contacte sinterizate

Contacte care să aibă în același timp conductibilitatea electrică și termică foarte bună (ca a cuprului sau argintului), dar și duritate și rezistență la arc electric (ca a wolframului), nu se pot obține pe calea alierii, deoarece punctul de topire al metalelor dure este prea ridicat și adesea cele două componente nu se pot alia. De exemplu: nu se poate obține un aliaj între argint și grafit sau între argint și oxidul de cadmiu, ultimele nefiind metale; totuși, se realizează materiale de contact prin asocierea acestor elemente.

Soluționarea tehnologică a acestei probleme este **sinterizarea** materialelor, adică realizarea unor compuși metalici pe alte căi decît prin aliere.

● **Procedee tehnologice de sinterizare.** Pentru realizarea sinterizării se folosesc în prezent patru *procedee tehnologice* diferite, fiecare din ele influențînd într-o anumită măsură calitățile materialului de contact obținut. Aceste procedee sînt:

- *sinterizarea* propriu-zisă, numită și sinterizare *fără fază fluidă;*
- *sinterizarea cu fază fluidă;*
- *sinterizarea prin înmuiere;*
- *sinterizarea prin oxidare internă.*

Sinterizarea fără fază fluidă reprezintă procedeul normal de sinterizare și constă în următoarele operații:

— se aleg cele două materiale de bază: unul cu conductibilitate electrică și termică foarte bună, de exemplu cupru sau argint, celălalt cu duritate mare și punct de topire ridicat, de exemplu wolfram sau molibden;

— se transformă fiecare dintre acestea într-o pulbere fină și se amestecă între ele (în stare de pulbere); apoi se supune această pulbere la presiuni mari și temperaturi ridicate, obținîndu-se piese de contact omogene, cu suficientă rezistență mecanică, cu rezistență de contact redusă, conductibilitate termică mare, comportare bună la sudură și la acțiunea arcului electric.

În cadrul procedeului de sinterizare fără faza fluidă, *presarea amestecului de pulberi metalice are loc la o temperatură inferioară punctului de topire al oricăruia dintre componenți.* În timpul acestei sinterizări, nici unul din materialele componente nu ajunge în stare lichidă. Acest procedeu este folosit întotdeauna atunci cînd proporția metalului cu punct coborît de topire este relativ mare (de exemplu, pentru materialul cupru-wolfram cu 40% wolfram).

Sinterizarea cu fază fluidă este similară procesului de mai sus, cu deosebirea că *temperatura la care are loc presarea amestecului de pulberi este superioară punctului de topire a metalului bun conducător.* În felul acesta, se obține un material mult mai compact, cu o mare capacitate termică și o bună conductibilitate termică, proprietăți necesare contactelor care îndeplinesc atît rolul de contacte de lucru, cît și pe cel de contacte de rupere.

Sinterizarea prin înmuiere constă în *realizarea în două faze a procesului de amestec al celor două metale,* și anume:

— se presează numai pulberea din metal cu punct ridicat de topire, și anume o pulbere cu granulație mare. Presarea se face la temperatură ridicată, dar inferioară punctului de topire al acestui metal. Rezultă un schelet presinterizat poros, de metal dur, *presat în forma dorită a piesei de contact;*

— în a doua etapă, metalul cu punct coborît de topire este topit și determinat să umple, prin capilaritate, golurile rămase în piesa presată de mai sus.

Se obțin în felul acesta contacte cu o mare rezistență mecanică și foarte rezistente la arc electric, dar cu un conținut redus (10 ... 20%) de metal bun conducător.

Procesul este folosit pentru realizarea contactelor avînd numai funcția de rupere.

Un procedeu tehnologic apropiat de cel descris mai sus este folosit de Întreprinderea Electroputere pentru realizarea unor contacte sinterizate din wolfram (72...77%), cupru (23.. 28%); și nichel (1,5...2%), materialul purtînd denumirea de „electrowocurit".

Sinterizarea prin oxidare internă se poate utiliza la materialele de contact realizate dintr-un metal bun conducător și un oxid metalic cu punct de topire ridicat, ca de exemplu contactele din argint și oxid de cadmiu.

Procedeul sinterizării prin oxidare internă constă în următoarele:

— se realizează mai întîi un aliaj metalic argint-cadmiu, în proporția dorită (5 ... 12% cadmiu);

— din acest aliaj se prelucrează (prin strunjire, ștanțare, presare etc.) piesele de contact în forma dorită;

— piesele astfel obținute sînt introduse în cuptoare electrice la o temperatură de 800°C, un timp de la cîteva ore pînă la cîteva zile. Cu această ocazie, oxigenul din aer pătrunde treptat prin difuzie în aliaj, oxidează cadmiul și îl transformă în granule foarte fine de oxid de cadmiu.

Grosimea peliculei obținute este de circa 0,15 mm. Pe măsura uzării piesei de contact, sub efectul temperaturii arcului electric pelicula se reface, astfel încît suprafața de contact păstrează tot timpul structura unui amestec de argint și oxid de cadmiu, în timp ce în interiorul piesei există aliajul argint-cadmiu, cu proprietăți termice și mecanice superioare.

Metoda oxidării interne permite obținerea unor contacte sinterizate care se pot prelucra mecanic, se pot nitui și suda, lucru important pentru reducerea cheltuielilor de producție în fabricație de serie mare.

● **Materialele de contact sinterizate** cele mai folosite sînt: cupru-wolfram, argint-wolfram, argint-nichel și argint-oxid de cadmiu.

Cupru-wolfram, conținînd 40 ... 90% wolfram, este folosit îndeosebi la întreruptoare, de înaltă tensiune și de mare putere cu ulei (nu se pot utiliza în aer, dată fiind tendința accentuată spre oxidare).

Argint-wolfram conțin 30 ... 90% wolfram. Variantele cu conținut redus de wolfram se folosesc îndeosebi în tehnica curenților slabi, pentru contactele releelor, startere, vibratoare etc. Cele cu conținut mediu de wolfram sînt folosite la întreruptoarele de mare putere de joasă tensiune, pentru contacte de lucru și de rupere. Variantele cu conținut mare de wolfram servesc exclusiv contactelor de rupere ale întreruptoarelor de mare putere, în aer.

Argint-nichel, conținînd 10 ... 40% nichel, se folosește în aparatajul de tracțiune supus unor solicitări grele, unde argintul pur nu mai satisface în ceea ce privește rezistența mecanică și uzura prin arc electric. Nu poate fi folosit la tensiuni joase, deoarece nichelul determină o rezistență de contact ridicată.

Argint-oxid de cadmiu, conține 6 ... 12%; oxid de cadmiu este foarte folosit în ultimul timp pentru contacte de lucru și de rupere la contactoarele de joasă tensiune cu regim greu de lucru (poduri rulante, macarale portuare, laminoare etc).

Inițial, aceste contacte se obțineau *prin procedeul de sinterizare fără fază fluidă*, adică prin amestecarea în proporția dorită a pulberii de argint cu cea de oxid de cadmiu și presarea în forme, urmată de sinterizare în cuptoare cu temperaturi înalte, apropiate de temperatura de topire a argintului. Această metodă de obținere a contactelor de argint și oxid de cadmiu prezintă însă următoarele dezavantaje:

— piesa de contact este casantă și nu se poate prelucra (dezavantajul principal este că nu se poate fixa prin nituire);

— structura este neomogenă, cu repartiție foarte neegală a oxidului de cadmiu în masa de argint;

— lipirea plăcuței de contact pe placa suport se face mai greu;

— tehnologia de fabricație este greoaie.

Pentru a se înlătura aceste dezavantaje s-a trecut la realizarea contactelor de argint-oxid de cadmiu prin *procedeul de oxidare internă.*

Argintul, aurul și platina sînt metale foarte scumpe; totuși se întîlnesc numeroase situații cînd este necesar un contact foarte bun și nu se poate renunța la ele. Pentru a se realiza astfel de contacte, dar cu un consum minim de metal prețios, se construiesc contacte bimetalice.

● **Nitul masiv**, din metal prețios, fixat pe o placă suport elastică din material bun conducător de electricitate și căldură, este cel mai simplu contact bimetalic. Se folosesc astfel nituri de argint fixate pe plăci de tombac sau pe bronz, pentru contacte la relee și aparate telefonice (fig. 9.14, *a*).

Contactele bimetalice propriu-zise sînt alcătuite din plăcuțe din metal prețios, fixate direct pe o placă suport din bronz cu beriliu, prin lipire, sudare sau placare (fig. 9.14, *b*, *c*, *d*, *e*).

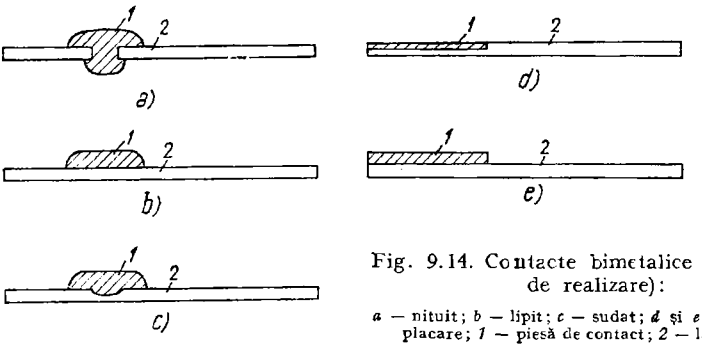


Fig. 9.14. Contacte bimetalice (posibilități de realizare):

a — nituit; *b* — lipit; *c* — sudat; *d* și *e* — aplicat prin placare; *1* — piesă de contact; *2* — lamă-suport.

● **Niturile bimetalice** sau **șuruburile de contact bimetalice**, care au o plăcuță subțire din metal prețios, fixate fie prin lipire, fie prin sudare electrică pe un nit sau șurub-suport de cupru sau fier (fig. 9.15), se folosesc pentru a se economisi în mai mare măsură metalul prețios sau atunci cînd acesta nu se poate nitui.

● **Benzile de contact bimetalice** se folosesc pentru contactele necesare aparatelor de întrerupere de joasă tensiune de curenți mai mari. Ele se realizează aplicîndu-se prin laminarea la rece sau la cald a unor fîșii de metal prețios (argint, aliaje de argint-nichel sau argint-cadmiu) pe o placă-suport din cupru sau alamă. Din benzile astfel obținute se ștanțează apoi contactele în forma dorită.

● **Cupalul** este un alt contact bimetalic, format din două foi, una de cupru și cealaltă de aluminiu, unite prin laminare la cald. Cupalul servește pentru a realiza îmbinări bune între conductoare de cupru și conductoare de aluminiu.

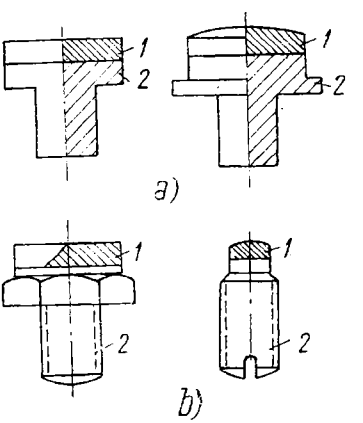


Fig. 9.15. Nituri și șuruburi de contact bimetalice:

a — nituri; *b* — șuruburi; *1* — plăcuță de contact; *2* — piesă-suport.

d. Suprafețe de contact realizate prin depunere galvanică

Se pot obține contacte de foarte bună calitate, cu un consum foarte mic de metal prețios, prun **depunerea galvanică a unui strat extrem de subțire** (cîțiva microni) **din metalul respectiv pe o piesă de contact** din cupru, bronz sau alamă. Datorită grosimii reduse a stratului de metal prețios, aceste contacte nu pot fi însă folosite drept contacte de întrerupere decît pentru tensiuni și curenți foarte mici. Ele pot fi folosite și la valori mari de curent, dar numai drept contacte permanente, acolo unde nu se produce nici uzură mecanică, nici uzură prin arc electric.

În construcția aparatajului electric de curenți tari (intensități nominale mai mari ca 1 A) se folosește ca depunere galvanică îndeosebi *argintarea* unor contacte de lucru (fără întrerupere). Se utilizează acest procedeu la aparate de înaltă tensiune — întreruptoare și separatoare — de intensități mari, precum și la siguranțe fuzibile de joasă tensiune, pentru a se reduce încălzirea contactelor în timpul funcționării și, în special, pentru a se evita înrăutățirea contactului prin oxidare,

Grosimea stratului de argint depus galvanic este de obicei de ordinul a 1 ... 10 μm.

G. ÎNTREȚINEREA CONTACTELOR

Supravegherea și îngrijirea periodică a contactelor electrice constituie o condiție strict necesară pentru asigurarea unei funcționări sigure a aparatelor, deoarece în timpul exploatării se produce întotdeauna o înrăutățire treptată a stării contactelor.

Prin uzura mecanică, prin oxidare sau prin pătrundere de impurități între piesele de contact, suprafața efectivă de contact se micșorează treptat și, ca urmare, contactul începe să se încălzească exagerat.

Încălzirea determină o accelerare a proceselor de oxidare și provoacă, în același timp, o slăbire a resoartelor care asigură presiunea pe contact. În felul acesta, contactul se înrăutățește din ce în ce mai mult și, dacă nu se iau măsuri de remediere în timpul operațiilor de verificare și întreținere periodică, se poate ajunge la deterioarea aparatului și chiar la accidente grave (scurtcircuite, incendii, explozii).

1. VERIFICAREA ȘI ÎNTREȚINEREA CONTACTELOR

Verificarea și întreținerea periodică a contactelor se efectuează diferit, în funcție de tipul contactelor.

a. Contactele fixe

La contactele fixe se fac următoarele verificări:

— se verifică vizual culoarea și aspectul contactului, pentru a se ști dacă nu s-au produs încălziri exagerate ale contactelor. La barele colectoare din stații se pot folosi, pentru supravegherea încălzirii acestora, și vopsele termo-

colore sau „timbre termocolore" *, care se lipesc în zona supravegheată; acestea pot indica, fără o supraveghere permanentă, chiar apariția unor supraîncălziri de scurtă durată;

— cu ajutorul unei chei cu efort reglabil se verifică dacă nu s-a produs o slăbire a contactului, ca urmare a dilatărilor sau a vibrațiilor;

— la contactele de aluminiu la care s-au folosit pelicule de lac pentru protejarea îmbinării împotriva umidității, se verifică starea peliculei de lac și lipsa unor manifestări de coroziune; la nevoie se reface pelicula protectoare;

— la îmbinările barelor de aluminiu la care nu s-au putut folosi rondele elastice, se va verifica după 4 ... 8 săptămîni de la primul montaj, starea contactelor și se reface, cu chei dinamometrice, strîngerea necesară a șuruburilor.

○○○ **Atenție!** *Verificarea încălzirii contactelor* prin supravegherea culorii timbrelor termocolore, precum *și verificarea peliculelor de protecție* folosite la îmbinarea barelor de aluminiu, *se pot face în timpul serviciului*, supraveghindu-se cu ochiul liber sau cu un mic binoclu, **de la distanța de protecție impusă de norme.**

○○○ **Atenție!** *Verificarea strîngerilor prin șuruburi și reajustarea* acestora *nu se pot face decît cînd instalația a fost* **scoasă de sub tensiune.**

b. Contactele de alunecare

La contactele de alunecare de cupru sau alamă:

— la perioade determinate prin instrucțiunile interne de exploatare se șterge cu o perie sau cu o bucată de pînză aspră suprafața de contact, pentru a se îndepărta praful metalic rezultat prin uzură în timpul funcționării și pelicula de vaselină veche îmbibată cu praf și corpuri străine;

— urmează o nouă curățire cu o cîrpă curată, umezită în benzină;

— se lasă contactul să se usuce și se unge apoi cu un strat foarte subțire de vaselină neutră;

— se verifică presiunea de contact și se înlocuiesc contactele uzate.

c. Contactele perie

La contactele perie:

— periodic se curăță, după cum s-a arătat mai sus, stratul vechi de vaselină îmbibat cu praf și pulbere de metal, înclocuindu-se cu unul nou (suprafața de lucru a acestor contacte trebuie să fie în timpul funcționării unsă cu puțină vaselină neutră, pentru a se reduce la minimum oxidarea și uzura prin frecare);

— se verifică culoarea lamelelor; o schimbare oricît de ușoară a culorii lamelelor indică o încălzire nepermisă și oxidare;

— se îndepărtează cu hîrtie sticlată (nu se va folosi praf de carborund) eventualele pelicule de oxid de pe contactul fix, iar peria se curăță prin pilire ușoară și atentă, astfel încît să nu se modifice unghiul sub care calcă;

— după curățire se îndepărtează pilitura și se unge peria cu vaselină neutră (numai contactele de alunecare se ung cu vaselină sau cu uleiuri minerale).

---

* *Timbre termocolore:* sînt numite astfel, benzi mici de hîrtie sau alt material similar, impregnate cu substanțe chimice care, la atingerea unei anumite temperaturi își modifică culoarea.

d. Contactele de întrerupere din cupru

La contactele de întrerupere din cupru:

— se îndepărtează praful sau alte depuneri cu o perie aspră;

— în cazul în care suprafața de contact prezintă perlări accentuate, acestea se îndepărtează cu o pilă;

— se verifică periodic, cu un dinamometru, valoarea presiunii pe contact;

— este necesar să se verifice, îndeosebi, starea contactelor cu frecvență foarte *mică* de conectare, deoarece aici apar perturbațiile cele mai frecvente, prin oxidarea contactelor (la conectări frecvente se realizează o autocurățire destul de eficace).

Contactele de întrerupere nu trebuie unse cu vaselină sau cu ulei, deoarece sub efectul arcului electric, acestea se carbonizează, îmbîcsind contactul și mărind inadmisibil de mult valoarea rezistenței de contact.

e. Contactele de întrerupere din argint sau aliaje prețioase

Contactele de întrerupere din argint sau din aliaje prețioase nu necesită alte întreținări decît curățirea periodică cu ajutorul unei pensule și a unei cîrpe umezite în benzină de extracție.

Ca toate contactele de întrerupere, ele nu se ung. Pilirea lor este inutilă și dăunătoare, chiar atunci cînd suprafața de contact este colorată și prezintă neregularități (sub efectul arcului electric), deoarece aceste contacte își păstrează calitățile și în aceste condiții.

Se verifică periodic presiunea de contact.

f. Contactele de rupere în ulei

Contactele de rupere în ulei prezintă, după o funcționare îndelungată, urme negre de ardere și perlări (uzura contactelor este mai pronunțată în ulei decît în aer). Este necesar să se curețe numai suprafața de contact cu o perie de sîrmă.

g. Contactele bimetalice

Contactele bimetalice, contactele sinterizate și contactele cu acoperiri galvanice nu se vor pili și nu se vor curăța cu șmirghel. Este suficient:

— să fie curățate cu o pînză umezită în benzină de extracție sau șterse numai de praf cu o pensulă;

— să se verifice vizual dacă nu s-au produs schimbări în culoare sau coroziuni;

— să se verifice la intervale mai mari, forța de apăsare pe contact.

2. FRECVENȚA REVIZIILOR

Frecvența la care trebuie făcute reviziile depinde de următoarele elemente:

- *de frecvența de conectare a aparatului;*
- *de natura sarcinii;*
- *de condițiile de mediu.*

Tabela 9.1

Metale și aliaje de contact — constante fizice

Nr. crt.	Materialul	Simbol	Densitate la 20°C	Temperatura de topire	Temperatura de fierbere	Duritate Brinell		Conductibilitate termică	Conductibilitate electrică	Rziestivitate	Variația rezistivității cu temperatura	Forma de utilizare *
						în stare moale	în stare tare					
			[cN/cm³]	[°C]	[°C]	[daN/mm²]	[daN/mm²]	[cal/cm · s grd	[m/Ω · mm²]	$\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]$	$\left[\frac{1}{grd} \cdot 10^3\right]$	
	A. *Metale*											
1	Cupru	Cu	8,9	1083	2300	50	100	0,94	58	0,017	4,3	M — A
2	Argint	Ag	10,5	961	2200	30	80	1,00	62	0,016	4,1	M — G — A
3	Aur	Au	19,3	1063	2970	25	60	0,70	44	0,023	4,0	G
4	Platină	Pt	21,4	1773	4400	40	95	0,17	10	0,100	3,9	G
5	Paladiu	Pd	12,0	1554	4000	40	100	0,17	9	0,111	3,8	G
6	Rodiu	Rh	12,4	1966	4500	130	280	0,21	22	0,046	4,4	G
7	Iridiu	Ir	22,5	2454	5300	220	350	0,14	19	0,053	4,1	G
8	Wolfram	W	19,1	3410	6000	250	450	0,40	18	0,056	4,1	S
9	Nichel	Ni	8,9	1453	2730	80	200	0,22	14	0,071	4,3	A — G
10	Crom	Cr	6,9	1920	2327	70	130	0,20	7,5	0,130	4,3	G
11	Aluminiu	Al	2,7	659,7	2500	16	50	0,55	35	0,028	4,7	M
	B. *Aliaje*											
1	Argint tare	Ag — Cu 3%	10,4	900	2200	50	85	0,88	57	0,018	3,5	A
2	Argint-oxid de cadmiu	Ag — Cd 0 — 10%	10,1	961	1390	80	125	—	42	0,024	3,5	S
3	Argint-nichel	Ag — Ni 20%	9,9	961	2200	60	95	0,74	47	0,021	3,5	A
4	Argint-grafit	Ag — C 0,5%	10,2	961	2200	40	—	—	55	0,018	3,9	S
5	Argint-wolfram	Ag — W 30%	11,9	961	2200	60	110	0,78	43	0,023	1,9	S
6	Cupru-wolfram	Cu — W 40%	10,7	1083	2300	95	130	—	40	0,025	4,2	S
7	Bronz de argint	Cu — Ag 2%	9,0	1000	2300	60	180	0,62	37	0,027	4,3	A
8	Alamă 63	Cu — Zn 27%	8,4	905	—	70	180	0,23	15	0,067	4,3	A
9	Bronz cu beriliu	Cu — Be 1,7%	8,4	950	2300	100	350	0,20	15	0,067	4,3	A

* Notații: M = contacte masive
A = aliaje de contact
G = acoperiri galvanice
S = contacte sinterizate

● **La conectări prea rare** (de exemplu o dată pe lună), efectul de autocurățire este redus și contactele de cupru se oxidează chiar dacă stau închise.

La frecvențele mari de conectare, trebuie să se asigure verificarea stării contactelor în interiorul intervalului duratei de serviciu garantat al acestora.

Astfel:

— un contactor avînd garantată o durată de serviciu a contactoarelor de 2 milioane conectări, și care este folosit într-un regim de 200 de conectări pe oră (o conectare la fiecare 18 s) efectuează 1 600 de conectări pe schimbul de 8 h, deci, dacă uzina lucrează într-un singur schimb, contactele se uzează după aproape 1 200 de zile de lucru, adică după circa 4 ani;

— același contactor, comandînd un agregat care lucrează neîntrerupt, zi și noapte, în regim de 600 de conectări pe oră, va efectua 14 400 de conectări pe zi; rezultă în acest regim că uzura contactelor are loc în circa 140 de zile, deci ele trebuie schimbate aproape trimestrial. Verificarea stării contactelor trebuie să se facă de cîteva ori în acest interval.

● **Întreruperea** curentului **în ulei** uzează contactele mult mai mult decît în aer; de aceea, contactele contactoarelor în ulei și cele ale întreruptoarelor cu ulei puțin de medie tensiune care comandă motoarele electrice cu porniri frecvente trebuie verificate des.

● **În ceea ce privește condițiile de mediu**, acolo unde sînt depuneri frecvente de praf, o atmosferă chimic corosivă sau umiditate mare, se va prevedea o verificare mai frecventă a stării contactelor.

În tabela 9.1 sînt prezentate caracteristicile fizice ale principalelor metale și aliaje de contact.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt metodele de îmbinare a conductelor electrice?
2 — Să se explice cum apare „rezistența de contact" și să se arate, cu exemple, factorii care influențează mărimea acesteia.
3 — Să se enumere tipurile de contacte clasificate după forma acestora, indicîndu-se pentru fiecare din ele: calitățile, deficiențele și domeniul specific de utilizare.
4 — Să se arate care sînt principalele metale folosite pentru realizarea pieselor de contact.
5 — Ce sînt și cum se obțin contactele sinterizate?
6 — Ce sînt și cum se obțin contactele bimetalice?
7 — Cum se efectuează verificarea și întreținerea contactelor?

Capitolul 10

IZOLATOARE ELECTRICE

● A. CONSTRUCŢIA ŞI PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE ● B. TIPURI CONSTRUCTIVE ● C. TEHNOLOGIA DE FABRICAŢIE A IZOLATOARELOR CERAMICE ● D. IZOLATOARE DE STICLĂ ● E. IZOLATOARE DIN RĂŞINI DE TURNARE ● F. ÎNTREŢINEREA IZOLATOARELOR

A. CONSTRUCŢIA ŞI PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE

Se numesc **izolatoare**, *elementele de instalaţie sau părţile de aparat special construite pentru a susţine mecanic şi pentru a asigura izolarea electrică a căilor de curent.*

1. MATERIALE PENTRU IZOLATOARE

Cea mai mare parte a izolatoarelor folosite în construcţia aparatajului electric este realizată din *porţelan* sau din alte *mase ceramice*, care vor fi analizate în cele ce urmează. Pe lîngă acestea, se mai folosesc în ultimii ani şi izolatoare din alte materiale, şi anume:

— izolatoare din *sticlă*, folosite numai ca izolatoare de exterior pentru linii aeriene; nu sînt folosite în construcţia aparatelor electrice;

— izolatoare din *răşini de turnare*, folosite din ce în ce mai mult şi în construcţia aparatelor de medie tensiune, dar numai pentru instalaţii de interior (răşinile de turnare se degradează dacă sînt supuse timp îndelungat radiaţiilor solare).

2. SOLICITĂRI LA CARE SÎNT SUPUSE IZOLATOARELE

Oricare ar fi materialul din care au fost realizate, izolatoarele trebuie să poată suporta anumite solicitări, a căror mărime depinde, la aceeaşi tensiune nominală, de rolul pe care îl îndeplineşte izolatorul în instalaţie. Aceste **solicitări** sînt (v. fig. 3.2):

• *solicitări mecanice*, date de greutatea conductoarelor, de vibraţii şi de forţele electrodinamice transmise de conductoare;

Tabela 10.1

Izolatoare ceramice pentru instalații electrice de curenți tari

	Tipul de izolator — clasificare	Figura	Materialul folosit	Procedeul de fabricație
Izolatoare de înaltă tensiune	*Izolatoare-suport* — de interior — cu armare exterioară	10.1, *a*	Porțelan tare	strunjire
	Izolatoare-suport — de interior — cu armare interioară	10.1, *b* și *c*	de înaltă ten-	strunjire
	Izolatoare-suport — de exterior — pentru linii aeriene — tip delta	10.2, *a*	siune	discuire*
	Izolatoare-suport — de exterior — pentru linii aeriene — tip motor	10.2, *b*		strunjire
	Izolatoare-suport — de exterior — pentru linii aeriene — suport cu inimă plină	10.2, *c*	Mase ceramice aluminoase	strunjire
	Izolatoare-suport — de exterior — pentru stații — cu inimă plină	10.3, *a*	Porțelan tare	discuire
	Izolatoare-suport — de exterior — pentru stații — tip multicon	10.3, *b*		discuire
	Izolatoare de suspensie — tip CT (cu capă și tijă)	10.4, *a*		strunjire
	Izolatoare de suspensie — tip motor	10.4, *b*		strunjire
	Izolatoare de suspensie — tip tijă	10.4, *c* și *d*	Idem	strunjire
	Izolatoare de trecere — pentru interior-interior	10.5, *a* și *c*		strunjire
	Izolatoare de trecere — pentru interior-exterior	10.5, *b*	Idem	strunjire
	Izolatoare de trecere — pentru transformatoare de forță	10.5, *d* și *e*		
	Izolatoare de trecere — pentru întreruptoare, cutii terminale etc.	10.5, *f*		
	Carcase de protecție pentru aparate — pentru protecția izolatoarelor de trecere tip condensator	10.6, *a* și *b*	Porțelan tare de înaltă tensiune	discuire sau strunjire
	Carcase de protecție pentru aparate — pentru transformatoare de măsură, întreruptoare de înaltă tensiune, descărcătoare cu rezistență variabilă	10.6, *c* și *d*	Idem	discuire sau strunjire
Izolatoare de joasă tensiune	*Izolatoare de joasă tensiune* — izolatoarele liniilor aeriene de joasă tensiune	10.7	Porțelan tare	presare
	Izolatoare de joasă tensiune — piesele ceramice componente ale siguranțelor fuzibile de joasă tensiune	10.8		presare
	Izolatoare de joasă tensiune — piesele ceramice izolante pentru aparataj de instalații	10.9	Porțelan de joasă	presare
	Izolatoare de joasă tensiune — piesele ceramice componente pentru corpurile de iluminat	10.10	tensiune sau steatit	presare sau turnare
	Izolatoare de joasă tensiune — piesele ceramice pentru aparatajul electrocaloric și camerele de stingere	10.11	Steatit sau termoceramit	presare sau turnare sub presiune

* Discuire — modelare a pastei în forme de ipsos.

• *solicitarea la străpungere electrică* prin masa de porțelan;
• *solicitarea la conturnare în stare uscată*;
• *solicitarea la conturnare sub ploaie*;
• *solicitarea la conturnare a izolatorului murdar și umed* (așa cum se manifestă pe vreme de ceață sau la formare de rouă);
• *solicitiarea termică* la radiațiile solare și șocul termic determinat de căderea unei ploi reci pe un izolator încălzit puternic de razele soarelui cu puțin timp înainte;
• *solicitarea dinamică și termică* dată de arcul electric de conturnare, în cazul în care acesta atinge suprafața izolatorului.

B. TIPURI CONSTRUCTIVE

În funcție de rolul pe care îl au izolatoarele în instalație și în funcție de natura solicitărilor la care sînt supuse, au fost standardizate anumite tipuri de izolatoare (tab. 10.1).

Izolatoarele destinate să funcționeze în interiorul clădirilor (fig. 10.1) sînt ferite de acțiunea ploii, a depunerilor de praf și a radiațiilor solare; de aceea, ele au o construcție mai simplă și o linie de conturnare mai mică decît izolatoarele de același tip, destinate să fie utilizate în aer liber (fig. 10.2).

Pentru fixarea izolatoarelor pe suportul lor și pentru fixarea căilor de curent pe izolator, se utilizează piese metalice intermediare, numite *flanșe* sau *armături*. Operația de fixare a armăturilor pe izolator se numește *armare*; ea poate fi interioară sau exterioară. Armarea exterioară se execută, practic, numai prin chituire, în timp ce armarea interioară se poate executa fie prin chituire, fie mecanic.

Pentru condiții de lucru deosebit de severe, cum sînt mediul cu depuneri mari de praf sau atmosfera chimic corosivă (așa cum se întîlnesc în vecinătatea

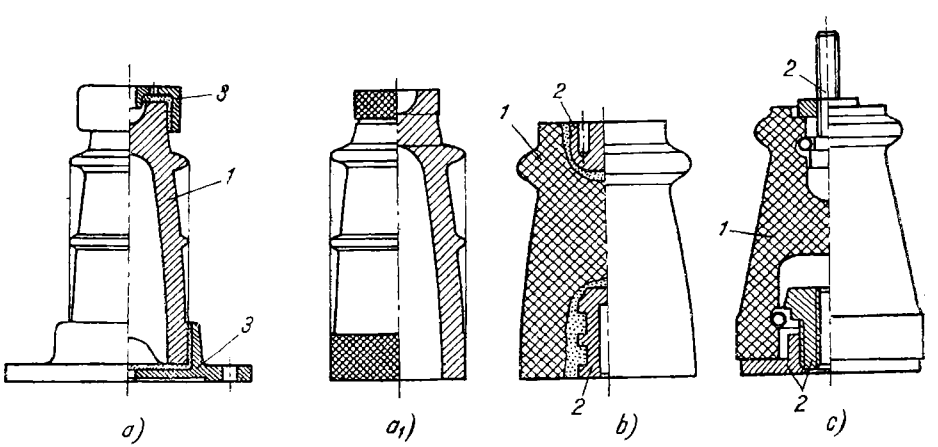


Fig. 10.1. Izolatoare-suport de interior pentru stații și aparate de medie tensiune:
a — cu armare exterioară (a_1 — același izolator nearmat); *b* — cu armare interioară prin chituire; *c* — cu armare interioară mecanică: *1* — izolator de porțelan; *2* — armături; *3* — flanșe.

Fig. 10.2. Izolatoare suport de exterior pentru linii aeriene de medie tensiune: *a* — tip delta; *b* — tip mosor; *c* — tip suport cu inimă plină.

marilor combinate chimice, a centralelor termoelectrice şi a fabricilor de ciment) şi pentru instalaţii electrice situate pe malul mării, se folosesc izolatoare de porţelan cu forme speciale, la care se iau măsuri deosebite pentru a se evita conturnarea (lungirea liniei de conturnare, pălării mai numeroase etc.).

○○○**Important.** Aşa cum rezultă şi din figura 3.2, solicitarea electrică a izolatorului poate determina fie *străpungerea*, fie *conturnarea* acestuia. Dintre acestea, *străpungerea este cea mai gravă*, deoarece izolatorul odată străpuns devine neutilizabil, pe cînd conturnarea solicită cel mult suprafaţa izolatorului şi, în general, nu provoacă distrugerea sau scoaterea acestuia din serviciu. Pentru aceste motive este util să se dea izolatorului o astfel de formă încît să se mărească tensiunea de străpungere în raport cu cea de conturnare. În acest fel, oricare ar fi solicitarea electrică, descărcarea electrică se va produce numai prin conturnarea izolatorului şi în nici un caz nu se va produce străpungerea sa.

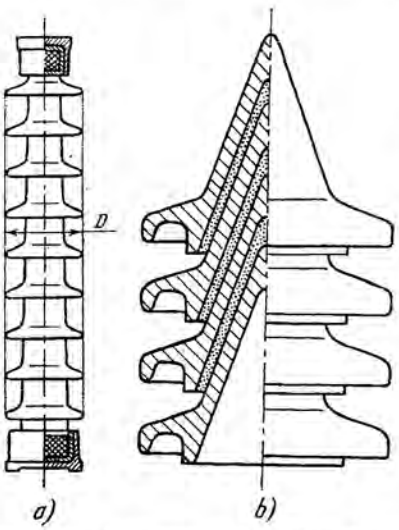


Fig. 10.3. Izolatoare suport de exterior pentru staţii de foarte înaltă tensiune: *a* — izolator suport cu inimă plină; *b* — izolator tip „multicon"

Urmînd această idee, au fost realizate *izolatoarele suport şi de suspensie*, care practic nu pot fi străpunse. Ele se numesc *izolatoare nestrăpungibile* sau, datorită formei lor, *izolatoare cu inimă plină*. Din această categorie fac parte izolatoarele pentru linii aeriene, tip tijă, şi unele izolatoare-suport de construcţie mai recentă pentru linii şi staţii de exterior (fig. 10.2, *c* şi 10.3).

Tipurile principale de izolatoare vor fi prezentate în cele ce urmează.

● **Izolatoarele suport** (fig. 10.1 ... 10.3). Acestea sînt izolatoare de construcție rigidă, al căror rol principal este de a susține barele conducătoare de curent în stații și conductoarele liniilor aeriene de medie tensiune. Izolatorul este solicitat la compresiune și îndeosebi la încovoiere.

● **Izolatoarele de suspensie** (fig. 10.4). Ele sînt folosite pe liniile aeriene de înaltă tensiune, pentru a susține — prin suspendare — conductoarele liniilor eelctrice. Aceste izolatoare sînt solicitate exclusiv la întindere.

● **Izolatoarele de trecere** au forme deosebite, mai ales în funcție de natura mediului din cele două spații în care se află o parte și cealaltă a izolatorului. În general, una dintre părți se află în aer (într-o încăpere sau în aer liber), cealaltă putînd fi:

— în interiorul unei încăperi (fig. 10.5, *a*, *b* și *c*);

— într-o cuvă cu gaze comprimate (la întreruptoarele cu aer comprimat) sau la stațiile capsulate cu izolație din hexafluorură de sulf;

— într-o cuvă cu ulei (la transformatoarele de forță și întreruptoarele cu ulei mult — fig. 10.5, *d* și *e*);

— într-o cutie plină cu masă izolantă (cazul cutiilor terminale din cablu — fig. 10.5, *f*).

Izolatoarele de trecere pentru tensiuni mai mari de 60 kV se construiesc de obicei în construcție de *tip condensator* (fig. 10.6, *a*). În interiorul acestora, conductorul este izolat cu cilindri concentrici de hîrtie de condensator,

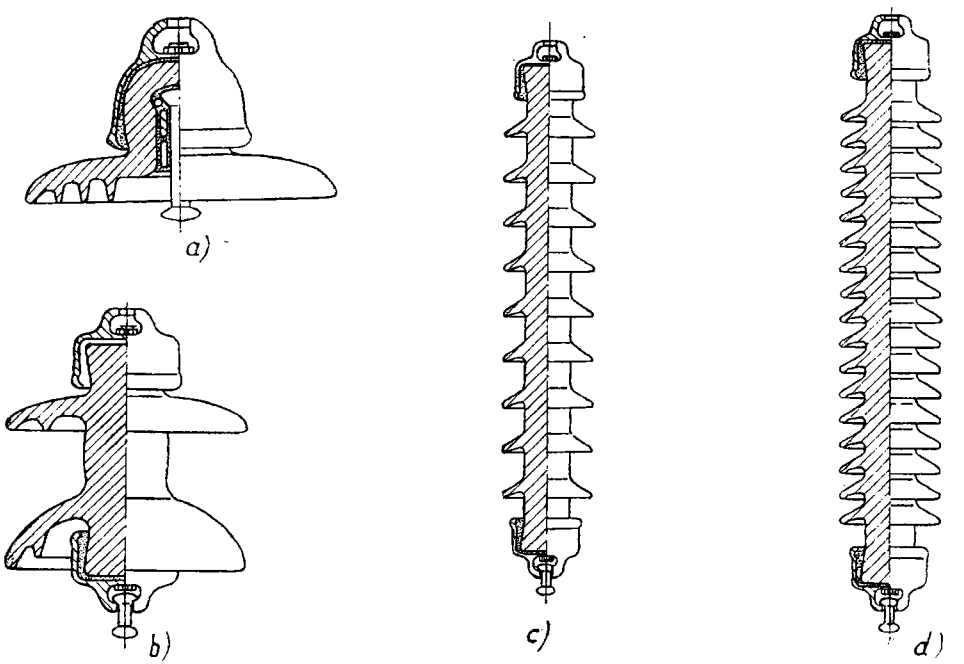


Fig. 10.4. Izolatoare de suspensie pentru linii aeriene:

a — tip C.T. (cu capă și tijă); *b* — tip mosor; *c* — tip tijă pentru condiții normale; *d* — tip tijă pentru mediu cu depuneri mari de praf sau în aer marin.

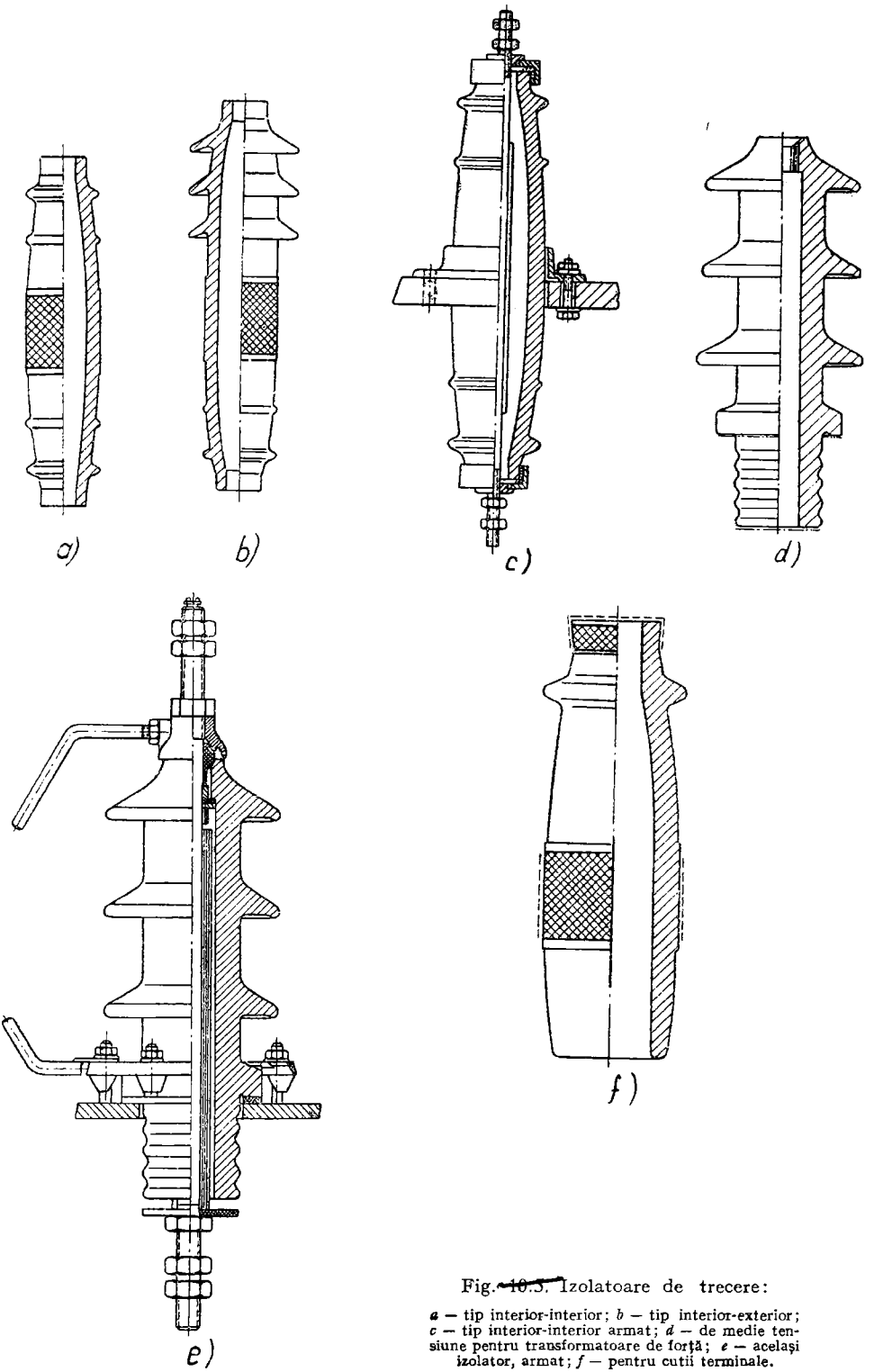
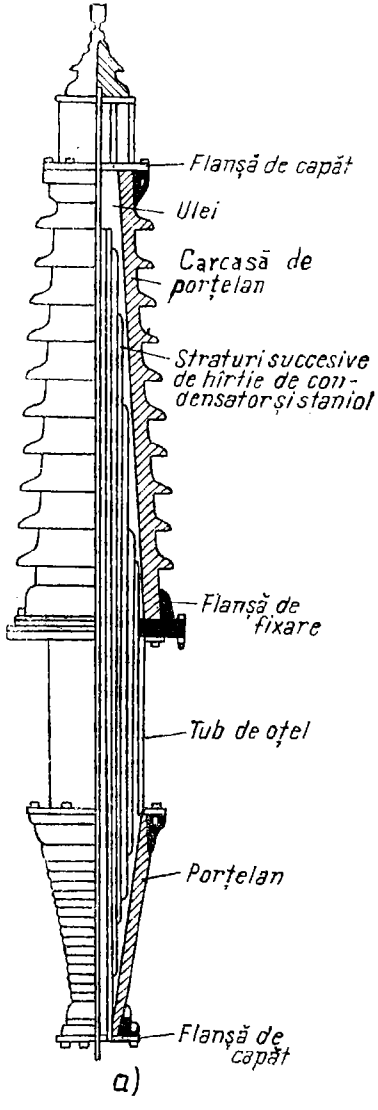
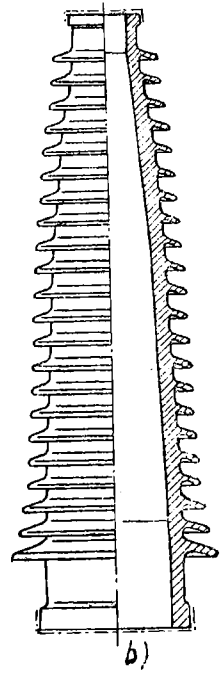
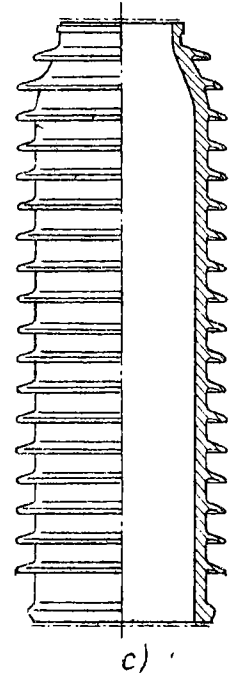


Fig. ~~10.5.~~ Izolatoare de trecere:

a — tip interior-interior; *b* — tip interior-exterior; *c* — tip interior-interior armat; *d* — de medie tensiune pentru transformatoare de forță; *e* — același izolator, armat; *f* — pentru cutii terminale.







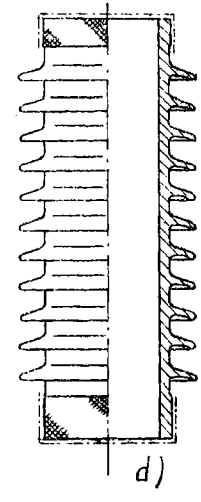


Fig. 10.6. Carcase de protecție pentru aparate:

a — izolator de trecere tip condensator, asamblat; *b* — carcasa de porțelan a aceluiași izolator (220 kV); *c* — carcasa de porțelan a unui transformator de măsură de 220 kV; *d* — carcasa de porțelan pentru un întreruptor de 110 kV.

alternînd cu cilindri din folie de aluminiu. Această parte a izolatorului este protejată împotriva acțiunii mediului exterior, de o carcasă de porțelan (fig. 10.6, *b*). Spațiul dintre izolator și carcasă se umple cu masa izolantă sau ulei de transformator.

● **Carcase izolante.** În construcția aparatelor de înaltă tensiune, ca: izolatoare de trecere, transformatoare de măsură, întreruptoare etc., se utilizează carcase de porțelan (fig. 10.6) al cărer rol este izolarea părților aflate sub tensiune, protejarea părților interioare ale aparatului împotriva agenților atmosferici și care, concomitent, servesc și ca recipienți.

● **Izolatoare de joasă tensiune.** La joasă tensiune, în multe domenii își găsesc întrebuințarea forme variate de izolatoare, relativ complicate față de dimensiunile lor reduse. Printre acestea mai reprezentative sînt următoarele familii de piese ceramice:

— izolatoare pentru linii de joasă tensiune (fig. 10.7);
— piese ceramice pentru siguranțe fuzibile de joasă tensiune (fig. 10.8);
— piese ceramice pentru aparataj de instalații (fig. 10.9);
— piese ceramice pentru corpuri de iluminat (fig. 10.10);
— piese ceramice pentru aparate electrocalorice (fig. 10.11).

C. TEHNOLOGIA DE FABRICAȚIE A IZOLATOARELOR CERAMICE

Piesele izolante ceramice, se realizează prin prelucrarea unui amestec de roci naturale (argile, caolin, feldspat și nisip de cuarț) care, măcinate la anumite granulații și amestecate cu apă, formează o pastă moale, ușor de prelucrat, luînd forme foarte diferite. Prin uscarea și arderea corpurilor astfel formate, se obțin obiecte de culoare albă, practic nedeformabile, avînd proprietăți dielectrice, termice, mecanice și de rezistență la agenți chimici, mai bune decît ale celorlalți izolanți solizi.

1. MASE CERAMICE

Există mai multe feluri de mase ceramice, obținute prin dozarea diferită a materiilor prime, din care se obțin produse electroceramice cu proprietăți diferite. Cele mai importante mase ceramice sînt: *porțelanul tare de înaltă tensiune, porțelanul presat de joasă tensiune, steatitul, termoceramitul* și *masele ceramice aluminoase.*

● **Porțelanul tare, de înaltă tensiune,** se obține dintr-un amestec format din:

— 50% caolin (o argilă pură);
— 25% feldspat;
— 25% nisip de cuarț.

Dozajul exact se determină în funcție de proprietățile și compoziția materiei prime.

Porțelanul tare se caracterizează prin *proprietăți dielectrice și mecanice remarcabile* și servește pentru fabricarea tuturor produselor ceramice de înaltă tensiune și a celor de joasă tensiune realizate prin strunjire sau extrudere.

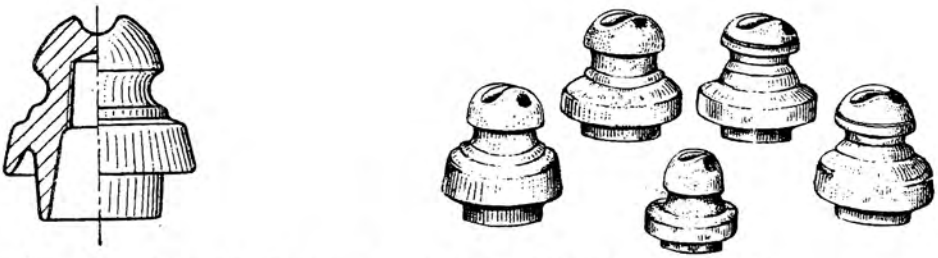


Fig. 10.7. Izolatoare pentru linii aeriene de joasă tensiune.

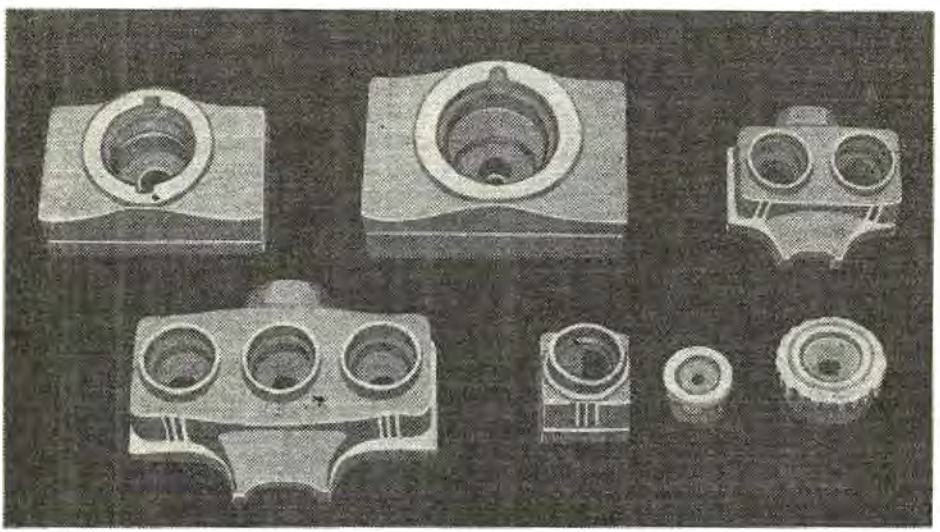


Fig. 10.8. Piese ceramice componente ale siguranțelor fuzibile de joasă tensiune.

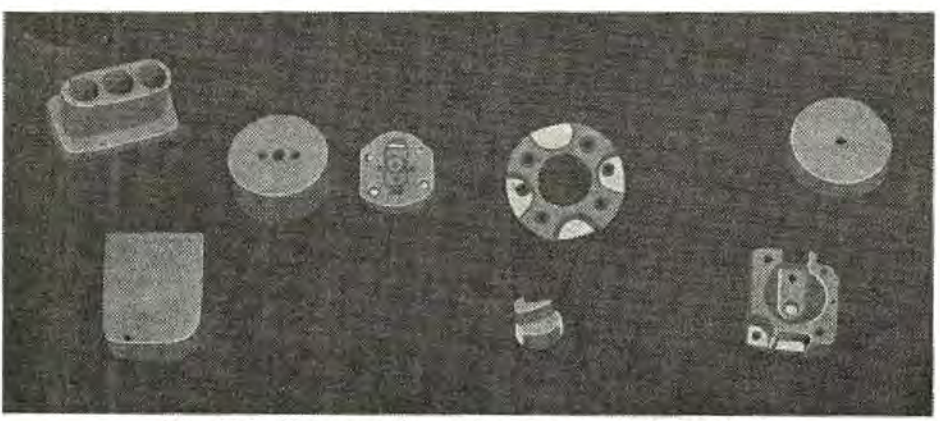


Fig. 10.9. Piese ceramice pentru aparatajul de instalații.

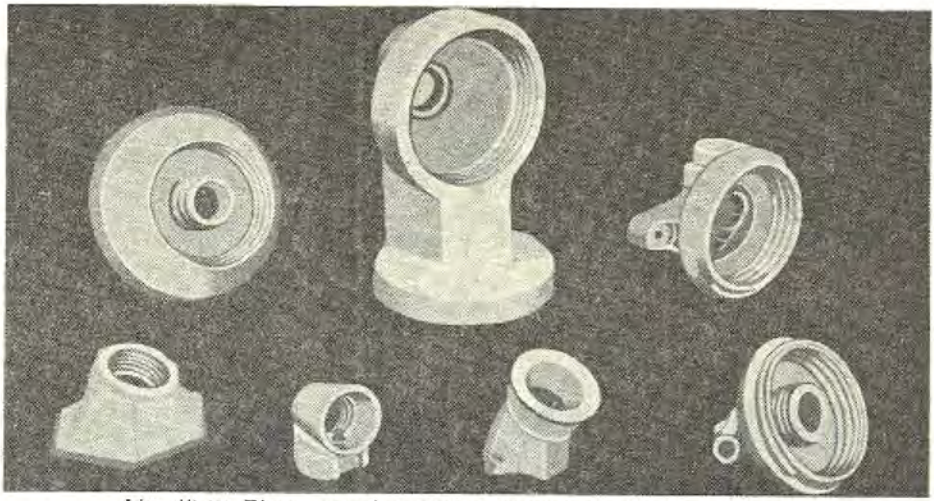
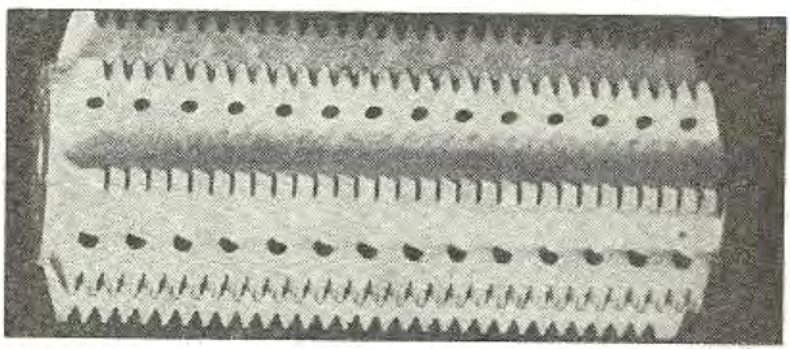


Fig. 10.10. Piese ceramice pentru corpuri de iluminat.



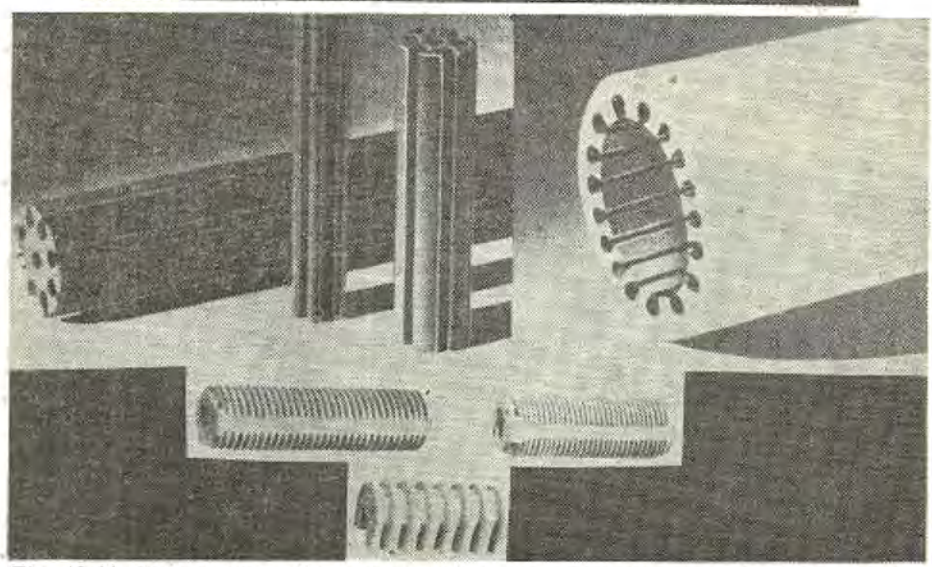


Fig. 10.11. Piese ceramice din termoceramit pentru rezistențe și aparate electro-calorice.

Porțelanul tare prezintă dezavantajul unei plaje foarte înguste de ardere (impune respectarea foarte exactă a temperaturii de ardere):

— în cazul în care temperatura este sub cea prescrisă, izolatoarele ies poroase, ceea ce afectează grav comportarea lor de durată, în exploatare;

— în cazul în care temperatura de ardere este mai mare ca cea prescrisă, izolatoarele au o rezistență mecanică scăzută.

● **Porțelanul presat, de joasă tensiune,** se obține din același amestec ca mai sus, la care se adaugă un liant pe bază de petrol, pentru a-l face propriu prelucrării prin presare. Se obțin astfel, cu un consum redus de manoperă, piese ceramice cu forme complicate, dar care au *proprietăți dielectrice și îndeosebi mecanice mult inferioare porțelanului de înaltă tensiune.*

Pentru a obține piese ceramice presate cu calități mecanice și de aspect mai bune, se folosește în ultimul timp pastă preparată în „atomizor".*

● **Steatitul** este o pastă electroceramică realizată din următoarele roci:

— 80% steatit (silicat de aluminiu);

— 10% feldspat;

— 10% argilă.

Se poate prelucra numai prin presare, obținîndu-se piese cu *proprietăți termice, dielectrice și mecanice mult superioare porțelanului de joasă tensiune.* Se folosește pentru realizarea pieselor ceramice de joasă tensiune puternic solicitate mecanic și termic și cărora li se impune respectarea cît mai precisă a dimensiunilor.

● **Termoceramitul (cordieritul)** este o pastă ceramică în care, pe lîngă silicatul de aluminiu, s-a introdus și silicat de magneziu. Se obțin piese ceramice cu *stabilitate mare la temperaturi ridicate și la acțiunea arcului electric.*

● **Materialele ceramice aluminoase** se obțin înlocuindu-se în rețeta porțelanului tare mai întîi cuarțul, și eventual și celelalte componente, prin oxizi de aluminiu (alumină), ajungîndu-se pînă la 98% alumină. Se obțin produse electroizolante cu *proprietăți electrice similare porțelanului de înaltă tensiune, dar cu proprietăți mecanice mult îmbunătățite.*

Materialele ceramice aluminoase sînt mai scumpe decît porțelanul tare dar, pe lîngă calitățile indicate mai sus, prezintă marele avantaj de a avea *o plajă foarte largă de ardere* (depășirea temperaturii de ardere prescrise nu are influență negativă asupra izolatorului ci, dimpotrivă, se obțin piese mai rezistente la solicitări mecanice).

Prin aceasta se îmbunătățește mult siguranța în exploatare a izolatoarelor și se reduc mult rebuturile de ardere în fabricație.

2. PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICAȚIE A IZOLATOARELOR ELECTRICE

Oricare ar fi tipul de material ceramic folosit, în procesul de fabricație a izolatoarelor ceramice se deosebesc următoarele **faze tehnologice:**

- *prepararea pastei;*
- *modelarea;*
- *uscarea;*

---

* *atomizor* = instalație de uscare foarte rapidă a unei paste fluide, prin injectarea acesteia sub presiune într-un recipient în care se menține o temperatură ridicată (400...450°C). Se obține o pulbere cu granulație fină și foarte uniformă.

- *aplicarea glazurii;*
- *arderea;*
- *prelucrările după ardere;*
- *armarea;*
- *încercările de control final.*

a. Prepararea pastei

● **Măcinarea.** Se cîntăresc mai întîi cantităţile necesare de caolin, feldspat şi nisip. Se macină acestea în stare umedă, în mori cu bile, amestecîndu-se totodată între ele, cu adaos important de apă. Se obţine astfel o pastă subtire, care este trecută prin site foarte fine pentru înlăturarea corpurilor străine şi a particulelor insuficient măcinate.

● **Eliminarea apei.** Se trece pasta prin filtre speciale cu presiune, în care se îndepărtează excesul de apă, obţinîndu-se o pastă vîscoasă sub formă de turte.

Turtele se pot lăsa la dospit într-un spaţiu umed, timp de circa o lună, ceea ce contribuie la mărirea plasticităţii pastei.

● **Confecţionarea hublilor.** Masa ceramică dospită este scoasă din spaţiul de depozitare şi trecută printr-o maşină de frămîntat sub vid (numită „presă-vacuum"), unde se obţine omogenizarea pastei şi eliminarea aerului conţinut în aceasta. Din această maşină pasta iese prin orificii circulare, cu anumite diametre, fiind tăiată în calupuri cilindrice cu lungimea necesară (denumiţi „calupi"). Pentru a se putea prelucra mai uşor, hublii sînt lăsaţi uneori să se usuce prin depozitare.

b. Modelarea

Cilindrii de pastă, de diametru şi lungime corespunzătoare izolatorului ce urmează a se fabrica, sînt modelaţi mai întîi manual pe mese rotative, sau mecanic, pe piese carusel cu masa şi suportul piesei rotative, dîndu-li-se o formă ceva mai apropiată de forma piesei. Calupurile de pastă obţinute după această primă prelucrare manuală, foarte puţin precisă, se numesc *hubli.*

Pornindu-se de la hubli de pastă moale, se trece la o a doua fază de modelare, prin care se realizează forma finală. Aceasta se poate obţine prin *discuire, strunjire, turnare* sau *extrudare.*

● **Discuirea.** Hublul se prelucrează manual pe mese rotative, asemănătoare cu mesele olarilor, folosindu-se forme de ghips şi şabloane.

● **Strunjirea** hublului pe strunguri verticale sau orizontale se face prin procedee asemănătoare cu strunjirea în lemn.

● **Turnarea.** Piese cu forme mai complicate şi care, datorită formei lor, nu se pot obţine prin strunjire (de exemplu, piesele ceramice pentru corpuri de iluminat — fig. 10.10, sau pentru elemente de siguranţă de joasă tensiune — fig. 10.8), se obţin prin turnarea unei paste lichide în forme de gips.

● **Extrudare.** Piesele tubulare de secțiuni uniforme, cum sînt, de exemplu, tuburile ceramice și suportul ceramic al fuzibilului pentru patroanele de înaltă tensiune, se execută prin extrudare.

În tehnologia modernă sînt eliminate, în general, etapele de „dospire" a pastei și hublarea manuală.

c. Uscarea

Piesele astfel prelucrate din pastă moale, conțin încă o mare cantitate de apă. Ele nu pot fi introduse în această stare în cuptoare de ardere, ci trebuie uscate în prealabil. Pentru ca uscarea să se realizeze în mod uniform în toată masa izolatorului, fără a se produce deformări sau crăpături, se folosesc camere speciale (cuptoare de uscare), în care se controlează și se reglează în mod automat temperatura și umiditatea aerului.

d. Aplicarea glazurii

Porțelanul ars are o suprafață mată, la care aderă ușor praful și impuritățile, ceea ce dăunează proprietăților izolante ale suprafeței. Pentru a se îmbunătăți proprietățile izolante ale suprafeței izolatorului, acesta se acoperă cu o glazură lucioasă (smalț), care împiedică aderarea umidității și a impurităților pe suprafața sa, îmbunătățind totodată comportarea acestuia la solicitări mecanice.

Glazura este tot un material ceramic, foarte asemănător cu porțelanul, dar avînd punctul de topire mai coborît decît al acestuia.

Glazura, care se prezintă sub forma unei paste foarte fluide, se depune pe izolatoare după uscarea acestora fie prin scufundarea izolatorului în baia de glazură, fie prin stropire cu pistolul.

În ultima fază a arderii, după ce procesul de ardere a porțelanului a fost terminat, se mai ridică pentru scurt timp temperatura în cuptor, astfel încît stratul de glazură depus pe izolator se topește, formînd pe suprafața acestuia, după răcire, o peliculă sticloasă continuă, avînd o grosime de 0,2 ... 0,3 mm.

Pentru izolatoarele de interior se folosește, de obicei, glazură de culoare albă, iar pentru cele de exterior — glazură brună, aceasta permițînd recunoașterea ușoară a izolatoarelor care în timpul exploatării au suferit spărturi.

e. Arderea

Arderea se efectuează în cuptoare speciale rotunde sau în cuptoare de tip tunel, încălzite cu cărbuni, cu combustibil lichid, cu gaz, sau în cuptoare electrice. În tot timpul arderii trebuie controlate cu strictețe temperaturile din cuptor și compoziția atmosferei din interiorul acestuia.

În timpul arderii, pe lîngă *transformările de structură*, piesele de porțelan suferă și o *reducere a dimensiunilor* (contracție) de 12 ... 14%. Mărimea acestei contracții depinde atît de compoziția masei, cît și de procesul de ardere și, de aceea, în general, piesele de porțelan nu se pot obține la dimensiuni exacte, ci prezintă abateri de $\pm$ 3 ... 5% față de dimensiunile nominale.

f. Șlefuirea

În general, după ardere, piesele de porțelan nu mai pot fi prelucrate. Dacă, însă, pentru anumite piese, este necesar să se realizeze *suprafețele de așezare perfect plane* sau *anumite dimensiuni* în toleranțe strînse, acestea se pot obține numai prin șlefuirea *cu pietre abrazive* sau prin tăiere cu *discuri tăietoare cu diamant.*

Piesele ceramice presate de joasă tensiune, cum sînt de exemplu soclurile siguranțelor cu filet, care necesită o suprafață plană de așezare, pot fi prelucrate cu ajutorul unui disc rotativ de fontă pe care se presară nisip umed.

g. Metalizarea

La izolatoarele de trecere de înaltă tensiune, *pentru a se îmbunătăți repartiția cîmpului electric pe izolator și a se reduce solicitarea porțelanului în zona de prindere a flanșelor,* adeseori se metalizează anumite porțiuni ale izolatorului.

Metalizarea se execută pe izolator ars, *cu un pistol de metalizare* sau *prin depunere electrolitică,* folosindu-se drept metal de depunere cuprul, zincul sau aluminiul. Metalizarea se execută *numai pe suprafețe neglazurate.*

h. Armarea

Armarea *este îmbinarea dintre izolatorul de porțelan și piesele metalice prin care se stabilește legătura mecanică a izolatorului cu restul instalației.*

Aceste piese de legătură, numite *flanșe* sau *armături,* sînt executate cel mai adesea din fontă cenușie sau din fontă maleabilă și, mai rar, din silumin (aliaj de aluminiu și siliciu) sau se forjează din oțel.

Se pot folosi două procedee de armare: *armarea prin chit* și *armarea mecanică.*

● **Armarea prin chit** este cel mai frecvent folosită și constă în *fixarea armăturilor* (flanșelor) *pe izolator prin intermediul unui chit.* Chitul este turnat în spațiul dintre izolator și armătură, pe care îl umple complet, realizînd, după ce se întărește, îmbinarea rigidă a izolatorului cu armătura sa. Drept chit de fixare se poate folosi:

- *plumb tare* (aliaj de 90% plumb și 10% stibiu), care se toarnă între izolator și armătură, la o temperatură de 300 ... 350°C;
- *ciment portland* cu adaos de nisip;
- *ciment de sulf* (amestec de 60% sulf și 40% nisip fin);
- *litargă;*
- *rășini de turnare.*

Plumbul tare dă o îmbinare bună și suficient de elastică, dar este scump și solicită defavorabil izolatorul prin temperatura relativ înaltă de turnare. De aceea a fost, în general, părăsit.

Cimentul portland dă îmbinări foarte bune și rezistente în timp, dar necesită o durată relativ lungă de întărire (cîteva zile). Este în prezent cel mai mult folosit.

Cimentul de sulf se toarnă la circa 130°C și are avantajul de a face priză repede, ceea ce reduce mult durata de armare. Nu poate fi folosit în regiuni calde, deoarece, la temperaturi care depășesc 80°C, începe să se înmoaie.

Armarea cu litargă este, de asemenea, un procedeu de armare rapidă, folosit pentru izolatoare de interior. Este sensibilă la prezența umidității, a agenților chimici și a căldurii în perioada de armare și prezintă un anumit grad de toxicitate. Pentru aceste motive *nu este folosită decît în situații în care se impune realizarea armăturii într-un timp scurt.*

Problema cea mai importantă pentru toate aceste chituri de îmbinare este găsirea rețetei care să aibă coeficientul de dilatare cel mai potrivit, pentru a nu se ajunge fie la desprinderea îmbinării, fie la deteriorarea izolatorului sau a armăturii prin dilatarea chitului.

● **Armarea mecanică** (fără chit) este folosită îndeosebi *la izolatoarele de trecere pentru transformatoare de putere* (v. fig. 10.5, *e*). Armarea mecanică este necesară în acest caz deoarece, în general, chiturile de armare nu rezistă la acțiunea uleiului; ea este aici utilizabilă, deoarece izolatoarele transformatoarelor de putere nu suportă, în serviciul normal, solicitări mecanice importante. Se mai folosește armarea mecanică la unele izolatoare tip suport de interior (v. fig. 10.1, *c*).

D. IZOLATOARE DE STICLĂ

În ultimii ani, în locul izolatoarelor ceramice de linie de tip CT, au început să se folosească lanțuri izolatoare similare ca formă, dar din sticlă călită (fig. 10.12 și 10.13).

● **Avantajele acestor izolatoare** constau în următoarele:

— *izolatoarele defecte pot fi ușor depistate și înlocuite,* deoarece în cazul unei străpungeri prin suprasolicitare electrică, pălăria izolatorului de sticlă se sfărîmă complet, rămînînd numai porțiunea din armătură, care asigură mai departe continuitatea mecanică a lanțului;

— *sticla are o rezistență de străpungere electrică superioară porțelanului tare* (la solicitări prin impuls de tensiune, sticla are o rezistență de ordinul a 1 350 kV/cm, în timp ce rezistența la străpungere a porțelanului, în aceleași condiții, este de numai 400 kV/cm);

— *coeficientul de dilatare al sticlei poate fi adus mai aproape de cel al fontelor folosite pentru armături,* putîndu-se realiza sticlă cu un coeficient de dilatare de $8{,}5 \cdot 10^{-6}$, față de $\sim 11{,}5 \cdot 10^{-6}$ la fonte și $4 \cdot 10^{-6}$ la porțelan;

—*se pot obține izolatoare din sticlă cu rezistență mecanică de ordinul a 30 tone,* deci *mult mai rezistente ca cele din porțelan;*

— *în cazul unei producții de serie mare, izolatoarele de sticlă sînt mai ieftine,* procesul tehnologic fiind mai simplu și putînd fi automatizat.

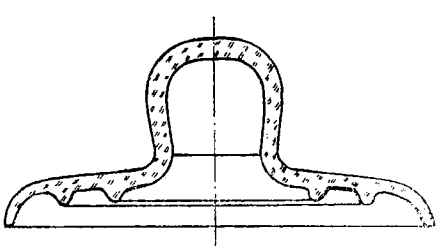


Fig. 10.12. Izolator din linie de sticlă călită, nearmat.

Fig. 10.13. Lanț format din diferite tipuri de izolatoare din sticlă (figura urmărește numai să exemplifice diversitatea de tipuri constructive de izolatoare; în practică însă, se folosesc în același lanț numai izolatoare de construcție identică).

● **Fazele procesului tehnologic de fabricație a acestor izolatoare** sînt următoarele:

— *dozarea materiilor prime* (nisip, caolin, dolomit, steatit);

— *topirea acestora* în cuptoare cu vană, la 1 400 ... 1500°C;

— *presarea sticlei* în forme metalice;

— *călirea sticlei* (răcirea bruscă în condiții controlate);

— *armarea*, care se efectuează la fel ca la izolatoare de porțelan.

● **Utilizarea.** Izolatoarele din sticlă se utilizează în prezent îndeosebi pentru linii aeriene ca izolatoare tip CT; izolatoarele din sticlă de tip delta și cele de joasă tensiune pentru linii aeriene sînt folosite în măsură mult mai redusă.

Se execută de asemenea izolatoare suport pentru stații, de tip „multicon" (fig. 10.3, *b*), din sticlă.

E. IZOLATOARE DIN RĂȘINI DE TURNARE

● În instalațiile electrice de interior de medie tensiune (6 ... 35 kV) se folosesc în ultimii ani din ce în ce mai mult izolatoare din rășini de turnare, în locul celor din porțelan, datorită următoarelor **avantaje**:

— *izolatoarele din rășini de turnare au o rezistență mult mai mare decît cele din porțelan la solicitări mecanice bruște*, care apar de exemplu la scurtcircuit (tab. 10.2);

— *armarea acestor izolatoare este mult mai simplă*, ea realizîndu-se prin înglobarea în izolator, în timpul turnării, a pieselor de prindere;

— *armarea interioară îmbunătățește mult repartiția tensiunii pe suprafața izolatorului*, ceea ce permite reducerea înălțimii acestuia (fig. 10.14);

— *rășina de turnare are o greutate specifică mai mică decît porțelanul*.

Toate acestea fac ca, la aceeași tensiune de serviciu și la aceiași curenți de scurtcircuit în instalație, izolatoarele din rășini de turnare să cîntărească numai 0,25 ... 0,5 din greutatea celor echivalente din porțelan. Astfel, izolatoarele din rășini de turnare permit reducerea importantă a dimensiunilor și a greutății aparatelor de medie tensiune, lucru deosebit de important mai ales în cazul folosirii acestora în celule de distribuție (fig. 10.15).

● **Tehnologia de realizare** a acestor izolatoare este similară cu cea a transformatoarelor de măsură în rășini de turnare.

Ca material se folosesc rășini de turnare epoxidice, cu umplutură de făină de cuarț în proporție de 200% față de greutatea rășinii.

Armarea se realizează concomitent cu turnarea rășinii.

a) *b)* *c)*

Fig. 10.14. Influența soluției constructive asupra izolatoarelor suport de interior (tensiunea nominală este aceeași: 10 kV):

a — izolator din porțelan cu armare exterioară; *b* — izolator din porțelan cu armare interioară; *c* — izolator din rășini de turnare.

Tabela 10.2

Comparație între proprietățile mecanice ale porțelanului și ale rășinilor de turnare

Caracteristici	Porțelan glazurat	Rășină epoxidică cu umplutură de cuarț
Greutatea specifică, în kgf/cm³	2,3...2,5	1,7...1,8
Rezistența la solicitări mecanice bruște (șoc), în kgf/cm²	180...220	600...700
Rezistența la tracțiune, în kgf/cm²	200...320	750...850
Modulul de elasticitate, în kgf/cm²	(0,7...0,8) · 10^6	(1,2...1,4) · 10^6
Rezistența la compresiune, în kgf/cm²	4 000...4 500	2 000...2 200

Fig. 10.15. Diferite tipuri de izolatoare suport pentru tensiuni nominale de 1—20 kV, din rășini de turnare.

● **Utilizare.** Această categorie de izolatoare se folosește la instalațiile de interior, deoarece rășinile de turnare au o comportare nesatisfăcătoare atunci cînd sînt expuse radiațiilor solare.

F. ÎNTREȚINEREA IZOLATOARELOR

a. Întreținerea izolatoarelor din porțelan

Izolatoarele din porțelan nu prezintă fenomene de îmbătrînire în timp, astfel încît întreținerea lor în timpul exploatării se reduce la operația de *curățire a prafului* și de *verificare periodică.*

● **Curățirea prafului** se efectuează cu ocazia reviziilor periodice, cînd instalația este scoasă de sub tensiune.

În regiunile industriale, unde depunerile de praf sînt abundente și întreruperile necesare pentru curățirea izolatoarelor ar fi prea frecvente, se folosesc instalații speciale de spălare cu jeturi de apă sub presiune (12 ... 15 atmosfere). Pentru a se evita electrocutarea prin jetul de apă, acesta este lansat cu intermitențe dese.

O soluție mai bună de protecție a suprafeței izolatoarelor de porțelan împotriva depunerilor de praf și a atmosferei industriale, o constituie ungerea suprafeței lor cu o peliculă subțire de *unsoare siliconică.* O astfel de peliculă, depusă cu pensula într-un strat de 0,1 ... 0,2 mm, este suficientă pentru a asigura izolația superficială a izolatorului timp de 1 ... 2 ani. Ea înglobează toate depunerile, împiedicîndu-le să adere la suprafața izolatorului și, fiind foarte hidrofugă, împiedică umezeala să formeze o peliculă continuă pe suprafața izolatorului. La intervale de 1 ... 2 ani se șterge vechiul strat de unsoare siliconică cu o pînză uscată *(nu se folosesc pentru acesta solvenți)* și se depune apoi, cu pensula, un nou strat de unsoare.

În ultimii ani au apărut pe piață și *uleiuri siliconice,* care se depun prin pulverizare și au o putere mai mare de absorbție a impurităților solide.

● **Verificarea periodică** a lanțurilor de izolatoare se execută prin inspecție vizuală, iar a izolatoarelor tip IC — cu aparate speciale, pentru a depista elementele din lanț care au fost deteriorate sau străpunse, ca urmare a unor suprasolicitări electrice, termice (prin arc electric de conturnare) sau mecanice.

La izolatoarele care se înlocuiesc, se verifică starea chitului de armare și starea acoperirii de protecție a armăturilor împotriva coroziunilor, pentru a se putea trage concluzii în legătură cu condițiile de funcționare ale tuturor izolatoarelor.

b. Întreținerea izolatoarelor de sticlă

Întreținerea izolatoarelor de sticlă nu diferă de cea a izolatoarelor de porțelan decît prin faptul că depistarea izolatoarelor deteriorate este mult mai ușoară: izolatorul lovit mecanic sau străpuns electric se distruge complet, pălăria căzînd în cioburi. Porțiunea de izolator prinsă în armătură se menține însă, astfel încît lanțul nu se rupe.

c. Întreținerea izolatoarelor din rășini de turnare

Acestea trebuie șterse periodic de praf, cu o cîrpă moale, verificîndu-se cu această ocazie dacă nu s-au produs deteriorări ca urmare a unui arc electric de contarnare sau a unei slăbiri a armăturilor în urma încălzirilor repetate sau a unor solicitări prin curenți de scurtcircuit.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Să se enumere principalele mase ceramice folosite pentru realizarea de produse electroceramice, indicîndu-se proprietățile specifice și domeniile lor de utilizare.
2 — Care sînt principalele operații tehnologice pentru realizarea unui izolator de porțelan?
3 — Să se arate procedeele tehnologice prin care se pot modela izolatoarele ceramice și domeniile specifice de utilizare.
4 — Care sînt principalele metode de armare a izolatoarelor ceramice?
5 — Faceți o comparație între izolatoarele din porțelan, cele din sticlă și cele din rășini de turnare, și explicați în legătură cu aceasta domeniile specifice de utilizare.

Capitolul 11

TERMOBIMETALE

● A. CONSTRUCȚIA ȘI PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE ● B. TIPURI CONSTRUCTIVE ● C. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE ● D. CALCULUL TERMOBIMETALELOR ● E. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA TERMOBIMETALELOR

A. CONSTRUCȚIA ȘI PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

În construcția aparatelor automate de joasă tensiune se folosesc frecvent relee termice cu bimetal, al căror rol este acela de a proteja motoarele electrice împotriva încălzirii exagerate prin suprasarcini de lungă durată.

Bimetalele *sînt formate din două metale sudate între ele și apoi laminate la rece pînă la obținerea unor foi la care cele două componente sînt intim legate între ele, pe toată suprafața.*

Termobimetalele folosite în construcția aparatajului electric se livrează în benzi, avînd grosimi cuprinse între 0,2 și 3,5 mm și lățimi de 20 ... 150 mm, din care se decupează sau se ștanțează plăcuțe în forma dorită. Partea activă este marcată cu inscripții sau semne geometrice, care indică totodată și sortimentul (caracteristicile) termobimetalului respectiv.

● **Componentele termobimetalului.** *Componenta activă* este formată dintr-un aliaj cu coeficient foarte mare de dilatare (aliaj de fier cu 15 ... 20% nichel și 6 ... 7% mangan). *Componenta pasivă* este formată din alt aliaj de fier (cu 36% nichel), cu un coeficient de dilatare aproape nul, numit *invar*.

● **Principiul de funcționare.** Dacă o foaie dintr-un astfel de bimetal este încălzită (fig. 11.1), atunci stratul *1* cu coeficient de dilatare mare tinde

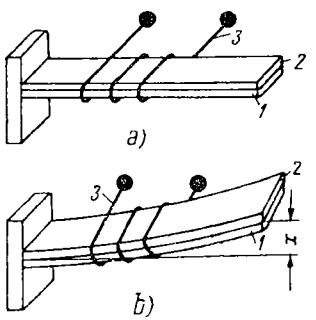


Fig. 11.1. Modul de funcționare a unui termobimetal:

a — bimetal rece; *b* — bimetal deformat după încălzire; *1* — strat cu coeficient de dilatare mare; *2* — strat cu coeficient de dilatare mic; *3* — înfășurare de încălzire.

să se dilate mai mult decît stratul *2*, care are coeficient de dilatare foarte mic. Ca urmare, bimetalul se încovoaie, componenta activă (partea cu coeficientul mare de dilatare) fiind în exteriorul curburii, iar componenta pasivă în interiorul acesteia.

B. TIPURI CONSTRUCTIVE

Diferitele tipuri constructive de termobimetal pot fi grupate după următoarele criterii:

- *forma lamelelor;*
- *modul de încălzire a bimetalului;*
- *modul în care acționează bimetalul.*

● **După forma lamelelor** se deosebesc (fig. 11.2):

— *bimetale lamelare* (fig. 11.2, *a*), care se obțin prin ștanțare din benzi. Elementele în formă de lamelă dreaptă (fig. 11.2, a_1) se folosesc îndeosebi acolo unde bimetalul nu este direct străbătut de curent, iar elementele în formă de U (fig. 11.2, a_2) sînt folosite îndeosebi, cînd bimetalul este străbătut de curent (contactul de intrare și cel de ieșire ale curentului sînt fixe);

— *bimetale în formă de disc* (fig. 11.2, *b*), care au proprietatea de a trece brusc dintr-o poziție în alta, ele fiind singurele forme de termobimetale care pot realiza o întrerupere bruscă; se folosesc la anumite relee termice care necesită o putere de rupere mare;

— *bimetale în spirală* (fig. 11.2, *c*), folosite îndeosebi la indicatoarele de temperatură, acolo unde cuplul rezistent este mic și se cere o deviație importantă la variații mici de temperatură. În fabricarea lor intervine pe lîngă operația de ștanțare sau tăiere din bandă, și o operație de spiralizare.

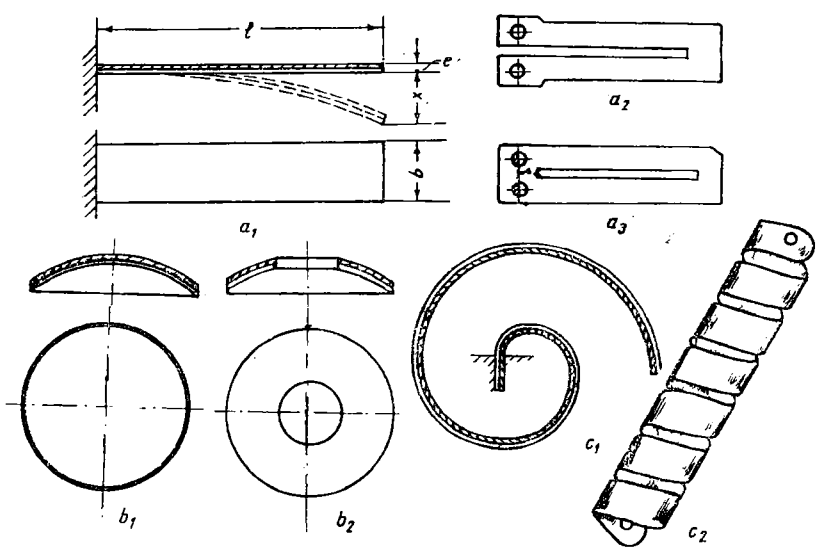


Fig. 11.2. Termobimetale — forme constructive:

a — bimetale lamelare (a_1 — lamelă dreaptă; a_2 — în formă de U; a_3 — lamelă cu decupare longitudinală și crestături de colț, pentru ușurarea montajului); b_1, b_2 — bimetale disc; c_1, c_2 — bimetale spirale și elicoidale.

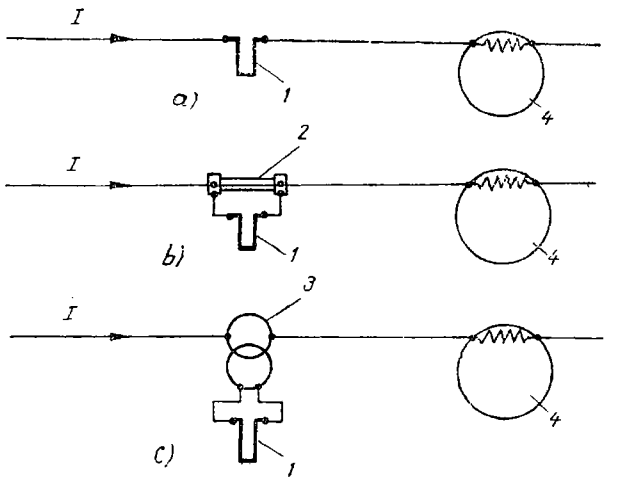


Fig. 11.3. Posibilităţi de încălzire directă a termobimetalelor:

a — prin curentul care străbate înfăşurarea protejată; *b* — prin curentul redus cu un şunt; *c* — prin curentul redus cu transformator; *1* — bimetale; *2* — şunt; *3* — transformator; *4* — motor protejat.

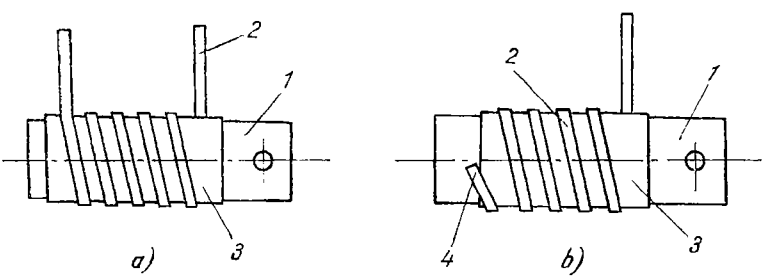


Fig. 11.4. Bimetale — tipuri de încălzire:

a — bimetal încălzit prin conducţie; *b* — bimetal cu încălzire mixtă (directă şi conducţie); *1* — bimetal; *2* — rezistenţă de încălzire; *3* — izolaţie rezistentă la temperaturi ridicate (mică, azbest, ţesătură de sticlă); *4* — contact prin sudură.

● **După modul de încălzire** a bimetalului, se deosebesc:

— *termobimetale încălzite direct*, adică încălzite prin efectul termic al unui curent electric care parcurge lama de bimetal. Acest curent poate fi curentul care străbate bobinajul motorului protejat (este cazul intensităţilor pînă la cîteva zeci de amperi) — (fig. 11.3, *a*), sau un curent proporţional cu cel ce străbate înfăşurarea protejată, redus fiind cu ajutorul unui şunt sau al unui transformator de curent (fig. 11.3, *b* şi *c*);

— *termobimetale încălzite indirect*, cu ajutorul unor elemente încălzitoare separate, care transmit bimetalului căldura prin conducţie (fig. 11.4) sau prin radiaţie (fig. 11.5).

● **După modul în care acţionează bimetalul**, releele cu termobimetal se clasifică în:

— *relee cu acţiune lentă*, la care deplasarea capătului liber al bimetalului se face lent, proporţional cu încălzirea sa;

— *relee cu acţiune bruscă*, la care bimetalul este mai întîi reţinut într-o poziţie fixă şi, numai după ce forţele de dilatare au atins o anumită valoare, capătul liber se deplasează într-o nouă poziţie. Cele mai cunoscute bimetale

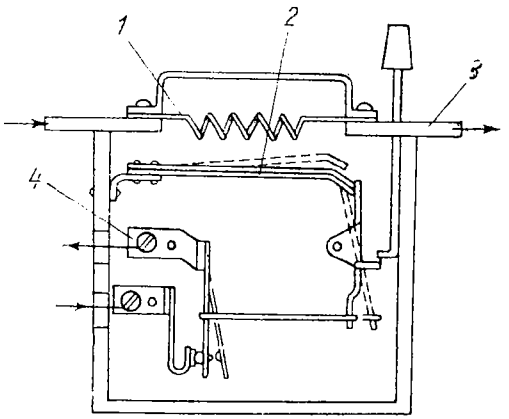


Fig. 11.5. Releul termic, cu bimetal încălzit indirect prin radiație:

1 — rezistență de încălzire; *2* — bimetal; *3* — circuit electric de comandă (supravegheat); *4* — circuit electric comandat.

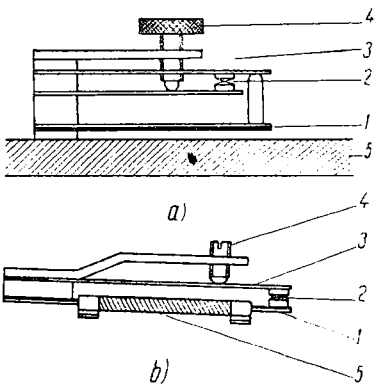


Fig. 11.6. Relee termice cu bimetal — elemente componente:

a — bimetal încălzit indirect prin radiație; *b* — bimetal încălzit indirect prin conducție; *1* — bimetal; *2* — contacte; *3* — element arcuitor; *4* — șurub de reglaj; *5* — sursă de căldură.

cu acțiune bruscă sînt bimetalele în formă de *disc*. Ele realizează prin deplasarea rapidă a contactelor o putere de rupere mai mare, dar precizia răspunsului lasă adesea de dorit, datorită modificărilor pe care le suferă bimetalul în timpul ambutisării discului.

Elementele componente ale unui releu termic cu bimetal sînt arătate în figura 11.6.

C. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE

Termobimetalele se livrează în forma unor benzi plane, avînd lungimi pînă la 3 m și lățimi între 20 și 150 mm, Livrarea în role se poate face numai la termobimetale cu grosimi sub 0,7 mm, care sînt folosite îndeosebi la aparatele de măsurat.

În întreprinderile producătoare de aparate electrice, termobimetalele sînt supuse următoarelor **operații tehnologice**:

- *ștanțarea din benzi;*
- *îndoire, spiralizare, filetare;*
- *tratament termic;*
- *înfășurarea rezistenței de încălzire;*
- *fixarea pe suport;*
- *reglaj și control.*

○○○ **Important.** *Înainte de a se începe primele operații de prelucrare mecanică, benzile de bimetal trebuie încă odată verificate pentru a se constata dacă corespund sortimentului indicat în documentație.* Acea verificare este absolut necesară deoarece în comerț, chiar la același furnizor, există numeroase sortimente de bimetal, care diferă între ele îndeosebi prin:

— rezistivitate;
— săgeata și forța la o temperatură dată;
— caracteristicile mecanice.

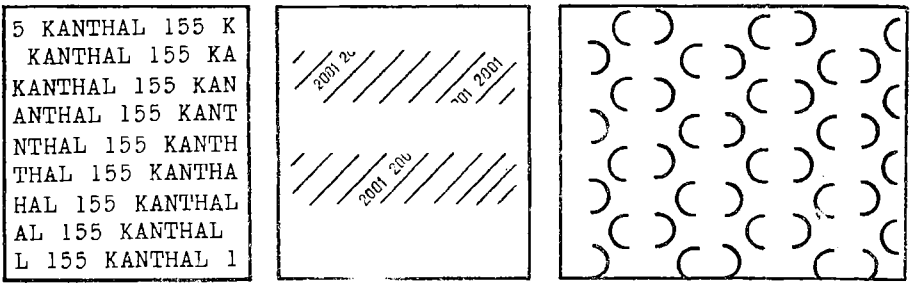


Fig. 11.7. Diferite moduri de marcare a sortimentului pe benzile de termobimetal.

Înlocuirea nestudiată a unui tip de material cu altul duce în mod sigur la funcționarea incorectă a aparatului.

Marcarea sortimentului de bimetal se face prin anumite semne, cifre sau inscripții (fig. 11.7) gravate pe una dintre fețele termobimetalului (de obicei pe partea activă).

D. CALCULUL TERMOBIMETALELOR

Se consideră o bandă de termobimetal încastrată la un capăt (fig. 11.8) și care are:

— lungimea liberă $L = 100$ mm;
— lățimea $l = 10$ mm;
— grosimea $e = 1$ mm.

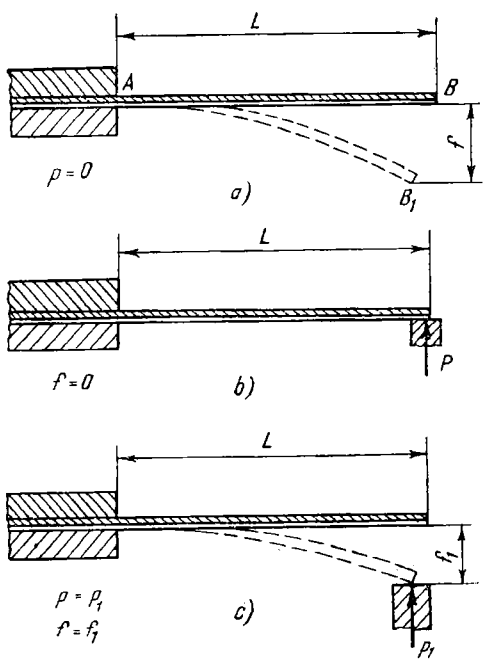


Fig. 11.8. Termobimetal încastrat la un capăt — elemente de calcul:

a — deformare liberă; *b* — deformare complet împiedicată; *c* — deformare parțial împiedicată.

Valoarea pe care o ia (exprimată în mm) săgeata f — pentru cazul considerat — la o diferență de temperatură de 1 grd se numește **coeficient specific de încovoiere K.**

Această valoare, specifică tipului de termobimetal, este dată întotdeauna în cataloagele producătorilor și oscilează în limitele:

$$K = 0{,}06 \ldots 0{,}20 \cdot 10^{-4} \ [1/\text{grd}].$$

Dacă, în cursul deformării sale, capătul liber B al lamelei de bimetal (fig. 11.8) întâlnește un obstacol, săgeata f este împiedicată să se dezvolte liber; în schimb, în punctul respectiv lamela, acționînd ca un resort plat, exercită o forță P din ce în ce mai mare, în funcție de temperatură și de caracteristicile mecanice ale lamelei. Forța P solicită bimetalul la încovoiere, solicitarea maximă fiind în punctul A.

Ca urmare, în calculul oricărei forme de bimetal se consideră *trei situații* (fig. 11.8):

- o situație extremă, în care *lamela se deformează liber* ($P = 0$);
- o altă situație extremă, în care *din momentul inițial lamela este împiedicată să se deformeze* ($f = 0$);
- o situație intermediară, care corespunde cazurilor celor mai frecvent întîlnite în construcția de aparate și relee, în care, *după ce a parcurs liber o porțiune de drum, capătul B este oprit de un obstacol, fiind obligat să acționeze cu o anumită forță un contact sau un element de declanșare.*

În cele ce urmează se vor analiza metodele de calcul pentru cîteva forme specifice de lamele termobimetal.

1. CALCULUL BIMETALULUI ÎN FORMĂ DE LAMELĂ DREAPTĂ ÎNCASTRATĂ LA UN CAPĂT

a. Cazul deformării libere a lamelei

● **Săgeata f** a capătului *liber* al bimetalului, atunci cînd temperatura acestuia variază de la o temperatură T_0 la temperatura T, este dată de relația:

$$f = K \cdot \frac{(T - T_0)L^2}{e} \text{[mm]}, \tag{11.1}$$

în care:

K este coeficientul specific de încovoiere definit mai sus; valoarea lui se ia din documentația tehnică a furnizorului;
T_0 — temperatura inițială a benzii de termobimetal, în °C;
T — temperatura finală a benzii, în °C;
L — lungimea benzii, în mm;
e — grosimea benzii, în mm.

Dacă se consideră:

$T_0 = 20$°C — temperatura normală a mediului ambiant;
T — temperatura maximă la care poate fi folosit bimetalul și care este de asemenea indicată în documentația tehnică a producătorului,

rezultă că se poate considera produsul:

$$C_1 = K(T - T_0)$$

ca fiind, de asemenea, o constantă a materialului.

În acest caz, relația (11.1), devine:

$$f = C_1 \cdot \frac{L^2}{e} \text{[mm]}. \tag{11.2}$$

● **Forța P** cu care banda de termobimetal apasă la capătul liber, în cazul în care deplasarea acestuia este împiedicată de un obstacol (fig. 11.8, *b*), este dată de relația:

$$P = K \frac{(T - T_0) \cdot E \cdot l \cdot e^2}{4L} \text{[daN]}, \tag{11.3}$$

în care:

E este modulul de elasticitate al materialului, în daN/mm²;
l — lățimea benzii, în mm;
e — grosimea benzii, în mm.

Și în acest caz se poate considera mărimea:

$$C_2 = K \frac{(T - T_0) \cdot E}{4}$$

ca o constantă a materialului; deci, relația (11.3) devine

$$P = C_2 \cdot \frac{l \cdot e^2}{L}. \qquad (11.4)$$

○○○ **Important de reținut.** Calcule mai exacte arată că, pentru a se obține o *precizie* bună în funcționarea lamelei de termobimetal, este indicat ca:

- *lățimea* benzii să nu depășească 1/10 din lungimea acesteia;
- *grosimea* benzii să nu depășească 1/10 din grosime.

b. Cazul în care bimetalul trebuie să exercite o anumită forță P_1, după ce capătul liber a parcurs un drum f_1

În astfel de situații, care corespund cel mai adesea celor întîlnite în practică, calculul se poate face tratîndu-se separat cele două situații:

— se consideră mai întîi deplasarea liberă f_1, folosindu-se relația (11.1) (în acest timp temperatura lamelei crește de la temperatura T_0 la T_1);

— folosindu-se relația (11.3) se tratează apoi separat cazul în care lamela fiind împiedicată să se deplaseze, dar temperatura crescînd mai departe de la valoarea T_1 la valoarea T, lamela ajunge să exercite apăsarea P_1.

○○○ **Important.** Prin calcule mai detaliate s-a constatat însă că *materialul este folosit în mod optim dacă jumătate din plaja de temperatură disponibilă este folosită pentru realizarea deplasării libere și restul de jumătate — pentru realizarea forței solicitate.*

Exemplu de calcul. O lamă de bimetal avînd o lungime de 60 mm trebuie să acționeze un microîntreruptor astfel încît, la o temperatură de 120°C, să realizeze după o cursă de 5 mm un efort de 100 gf (1 N).

Rezolvare.

— Din catalogul de tipuri de bimetale se alege mai întîi *sortimentul* care corespunde cel mai bine domeniului de temperatură și specificului de utilizare. De exemplu, s-a ales materialul care, conform datelor de catalog, are:

coeficientul specific de încovoiere $K = 0{,}15 \cdot 10^{-4}$/grd;

modul de elasticitate $E = 17\,000$ daN/mm².

— Considerîndu-se temperatura mediului ambiant $T = 20$°C, rezultă că întreaga plajă de temperatură în care va lucra bimetalul, este $120 - 20 = 100$ grd.

— S-a arătat că este optim ca jumătate din această plajă (50 grd) să fie folosită pentru deplasarea *liberă* de 4 mm, iar restul de 50 grd — pentru realizarea forței de 100 gf. Se deduce pentru această situație valcarea grosimii și respectiv a lățimii benzii de metal:

relația (11.1 devine:

$$5 = \frac{0{,}15 \times 10^{-4} \times 50 \times 60^2}{e}$$

de unde rezultă *grosimea* e a benzii:

$$e = \frac{0{,}15 \times 50 \times 60^2}{5 \times 10^4} = 0{,}54 \text{ mm};$$

din catalog se alege grosimea standardizată cea mai apropiată: $e = 0{,}55$ mm, care introdusă în relația (11.3), se obține:

$$0{,}1 = \frac{0{,}15 \cdot 10^{-4} \times 50 \times 17\,000 \times 0{,}55^2 \times l}{4 \times 60},$$

deci *lățimea* l a benzii de bimetal va fi:

$$l = \frac{0{,}1 \times 4 \times 60}{0{,}15 \times 10^{-4} \times 50 \times 17\,000 \times 0{,}55^2} = 6{,}25 \text{ mm}.$$

— Se verifică apoi dacă nu se depășesc solicitările de încovoiere admise. Se folosesc în acest scop relații simple dar care depășesc cadrul de pregătire al acestui manual.

În cazul în care solicitările de încovoiere obținute sînt încă prea mari, se mărește corespunzător lățimea benzii (ceea ce nu modifică săgeata f_1).

2. CALCULUL BIMETALULUI ÎN FORMĂ DE DISC PLAN

- **Săgeata** (fig. 11.9, *a*) în cazul unei deformări libere, este dată de relația:

$$f = \frac{K \cdot D^2(T - T_0)}{4e}. \tag{11.5}$$

- **Forța de apăsare** (la $f = 0$) este dată de relația:

$$P = \frac{4E \cdot f \cdot e^3}{D^3}. \tag{11.6}$$

Notațiile sînt cele cunoscute și cele indicate în figura 11.9.

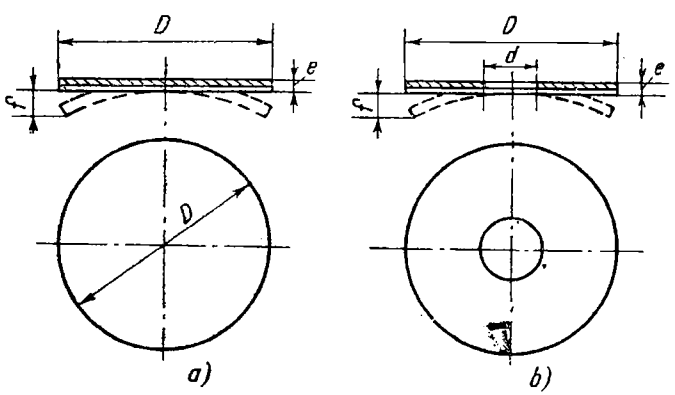


Fig. 11.9. Termobimetale disc și inelare — elemente de calcul.

● **Săgeata** (fig. 11.9, *b*) este dată de relația:

$$f = \frac{K(D^2 - d^2) \cdot (T - T_0)}{4e} . \qquad (11.7)$$

● **Forța de apăsare** (la $f = 0$):

$$P = \frac{4E \cdot f \cdot e^3}{D^2 - d^2} . \qquad (11.8)$$

○ **Observație.** *În cazul bimetalelor încălzite direct* prin trecerea curentului electric, calculul devine mult mai complex și experimentările practice în situații cît mai apropiate de cea de utilizare devin indispensabile.

E. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA TERMOBIMETALELOR

Termobimetalele nu necesită o întreținere specială dacă sînt ferite de acțiunea umezelii exagerate sau a unui mediu chimic corosiv. În exploatarea lor, întreținerea constă în următoarele operații:

• *se verifică periodic starea bimetalului,* pentru a se vedea dacă nu au apărut coroziuni prin acțiunea mediului sau deformări permanente ale bimetalului prin efectul unor suprasarcini sau scurtcircuite;

• cu această ocazie *se șterg bimetalele de praf sau alte depuneri,* cu ajutorul unei pensule; operația aceasta se execută numai cu aparatul scos de sub tensiune;

• *se verifică culoarea bimetalului în zona de fixare,* pentru a se observa dacă se produc încălziri locale, ca urmare a unui contact imperfect;

• *după scurtcircuite în instalație, se verifică dacă reglajul releelor termice nu s-a modificat,* ca urmare a deformării bimetalului prin curenții de scurtcircuit.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt elementele componente ale unui termobimetal și principiul de funcționare al acestuia?
2 — Care sînt posibilitățile de încălzire a unui termobimetal?
3 — Cum trebuie întreținute în exploatare releele termice cu bimetal?

Capitolul 12

ELECTROMAGNEȚII

● A. CONSTRUCȚIA ȘI PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE ●
B. TIPURI CONSTRUCTIVE ● C. TEHNOLOGIA DE FABRICAȚIE ●
D. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA ELECTROMAGNEȚILOR

A. CONSTRUCȚIA ȘI PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Dacă se înfășoară în jurul unei bare de oțel moale sau din alt material magnetic mai multe spire din conductor izolat și se lasă să treacă un curent electric prin această înfășurare, se constată că bara (miezul) capătă proprietăți magnetice, adică atrage alte bucăți de fier aflate în vecinătatea sa.

Un astfel de *dispozitiv, format dintr-un miez magnetic și o bobină,* se numește **electromagnet.**

Spre deosebire de magneții permanenți, electromagneții au proprietăți magnetice numai atît timp cît bobinele lor sînt parcurse de curentul electric.

1. ELEMENTE COMPONENTE

Orice electromagnet este format din două elemente principale: *miezul magnetic* și *bobina de excitație.*

● **Miezul magnetic** este format la rîndul său dintr-o *parte fixă* și o *armătură mobilă* (fig. 12.1).

● **Bobina** electromagneților este alcătuită dintr-o *carcasă* izolantă din carton electrotehnic, bachelită sau material plastic, și din *înfășurarea* propriu-zisă, realizată din sîrmă de cupru izolată cu email, bumbac sau mătase (ultimele două fiind din ce în ce mai puțin utilizate).

2. DOMENII DE UTILIZARE

Electromagneții constituie unele dintre elementele constructive importante ale aparatului electric, fiind folosiți pentru:

— acționarea echipajului mobil al contactoarelor de joasă și înaltă tensiune;

— comanda de la distanță a deschiderii întreruptoarelor automate de joasă tensiune;

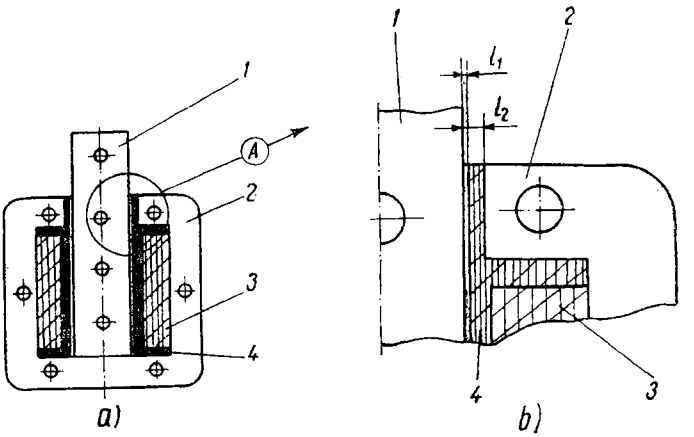


Fig. 12.1. Elementele componente ale unui electromagnet:

a — ansamblu; *b* — detaliul *A* mărit; *1* — armătură mobilă; *2* — armătură fixă; *3* — bobină; *4* — carcasa bobinei; l_1 — joc pentru deplasarea liberă a armăturii mobile; l_2 — întrefier.

— *ca dispozitive de declanşare voită sau automată a unor mecanisme* (relee de declanşare);

— *ca dispozitive de protecţie la variaţii de tensiune* (relee de tensiune);

— *ca dispozitive de siguranţă* (relee de blocare) etc.

În afară de utilizările de mai sus, în fabricile de aparataj electric se produc şi electromagneţi de acţionare, folosiţi *în diferite mecanisme ale maşinilor-unelte* sau *ca electromagneţi de ridicare*.

Se folosesc atît electromagneţi de curent alternativ, cît şi electromagneţi de curent continuu.

B. TIPURI CONSTRUCTIVE

Principalele tipuri de electromagneţi sînt arătate în tabela 12.1. Dintre acestea, vor fi prezentaţi numai electromagneţii încorporaţi în construcţia aparatelor electrice.

Tabela 12.1

Clasificarea electromagneţilor

Electromagneţi	*de curent continuu*	— electromagneţi pentru acţionarea aparatelor electrice şi a releelor — cuple electromagnetice — mese magnetice pentru maşini-unelte — electromagneţi pentru ridicare şi transport — separatoare magnetice
	de curent alternativ	— electromagneţi pentru acţionarea aparatelor electrice şi a releelor — electromagneţi de frînă

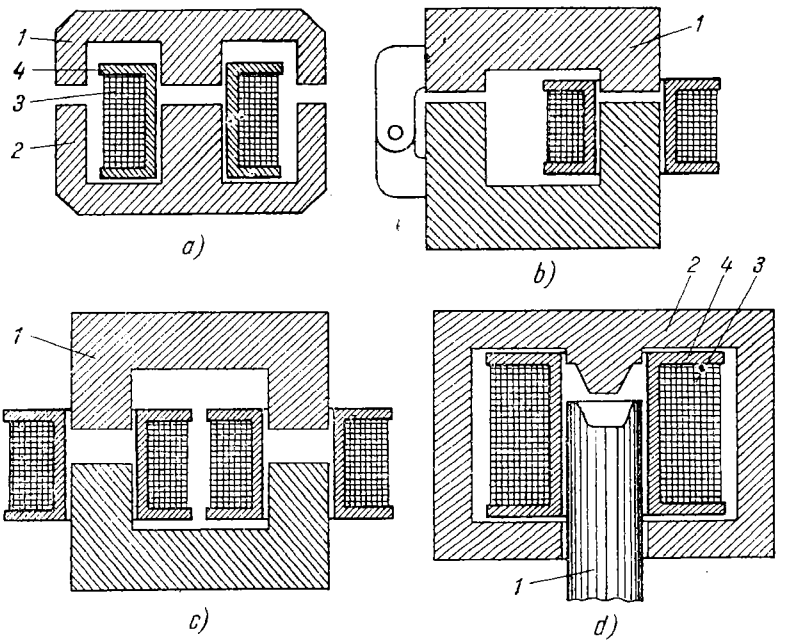


Fig. 12.2. Electromagneți — forme constructive:
a — cu miez magnetic în E; *b* — tip „clopot"; *c* — cu miez magnetic în U; *d* — tip „manta";
1 — armătură mobilă; *2* — armătură fixă; *3* — bobină; *4* — carcasa bobinei.

Principalele forme constructive de electromagneți folosiți în construcția aparatelor electrice sînt ilustrate în figura 12.2.

1. ELECTROMAGNEȚI DE CURENT CONTINUU

● **Avantaje.** Electromagneții de curent continuu sînt în general de construcție simplă, avînd circuitul magnetic din oțel masiv, armătura mobilă și sînt cilindrici. Ei au o forță de atracție mai mare decît cei de curent alternativ, pierderi mai reduse și închidere mai puțin brutală.

● **Dezavantaje.** Electromagneții de curent continuu prezintă însă unele inconveniente, și anume: necesită o sursă de curent continuu, iar în poziția „închis" (cînd armătura este lipită de miez) absorb un curent mult mai mare decît cel necesar pentru menținerea armăturii mobile în această poziție. Acest lucru impune să se prevadă în schema electrică de alimentare a bobinei, posibilitatea înserierii, în momentul închiderii armăturii, a unei rezistențe care să limiteze curentul absorbit de bobină, la valoarea necesară reținerii armăturii.

Tipurile de electromagneți de acționare de curent continuu, folosite mai frecvent în construcția aparatajului electric, sînt reprezentate în figura 12.3.

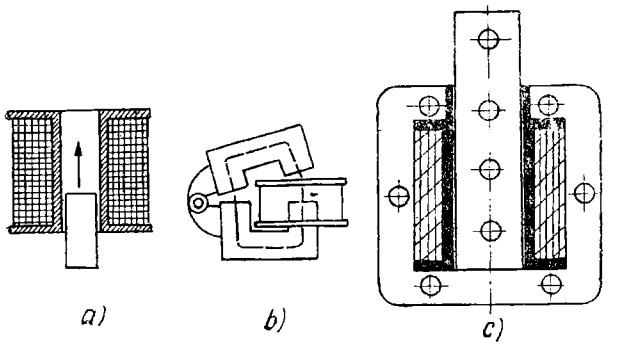


Fig. 12.3. Electromagneți de curent continuu:

a – solenoid cu circuit magnetic deschis; *b* — tip clopot; *c* — tip manta.

3. ELECTROMAGNEȚI DE CURENT ALTERNATIV

● **Particularități.** Electromagneții de curent alternativ prezintă, în raport cu cei de curent continuu, unele **dezavantaje**, și anume:

— la aceleași dimensiuni ale miezului, forța portantă este mai mică;

— pierderile de energie în miezul magnetic (prin curenți Foucault) impun realizarea acestuia din foi de tablă silicioasă, izolate între ele cu lac sau hîrtie (fig. 12.4);

— forța portantă a unui electromagnet (variind cu pătratul valorii curentului ce străbate bobina), la electromagneții de curent alternativ este o mărime *variabilă în timp*, oscilînd de 100 de ori pe secundă între valoarea maximă și zero, ceea ce face ca magnetul să vibreze, producînd uneori un zgomot foarte supărător. Variația în timp a forței portante mărește și pericolul de desprindere a armăturii, la scăderi accidentale ale tensiunii.

Pentru a se remedia aceste deficiențe, se introduc în armăturile magneților monofazați de curent alternativ, în vecinătatea planului de lipire a armăturilor, spire în scurtcircuit, al căror rol este de a reduce zgomotul și pericolul de desprindere.

● **Tipurile de electromagneți de curent alternativ** folosite mai frecvent sînt reprezentate în figurile 12.5 ... 12.7.

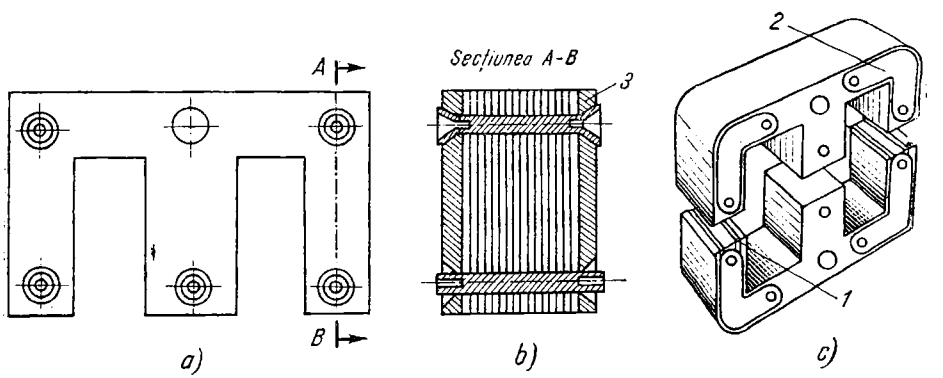


Fig. 12.4. Miez magnetic al unui electromagnet de curent continuu în formă de E:

a — vedere; *b* — secțiune prin pachetul de tole; *c* — vedere în perspectivă: *1* — spiră în scurtcircuit; *2* — flanșe de împachetare; *3* — tolă de capăt.

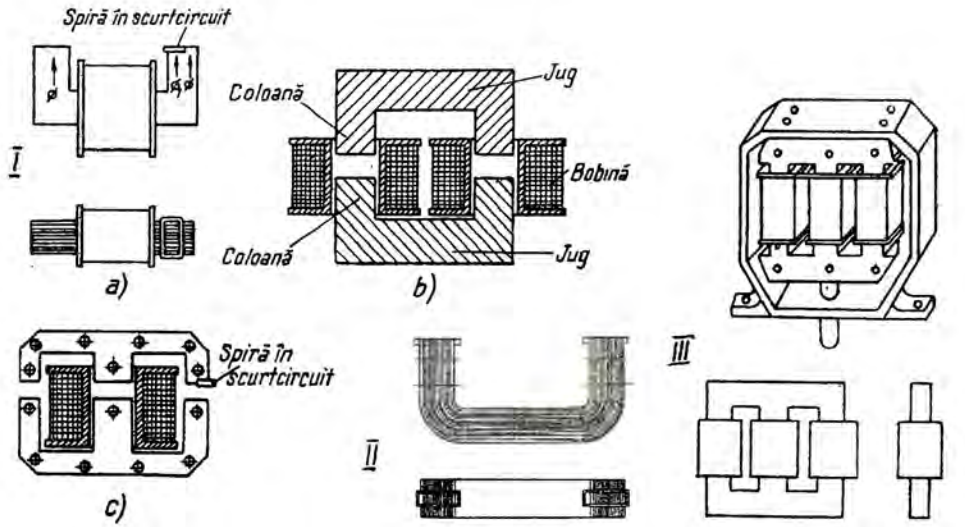


Fig. 12.5. Diferite forme de electromagneți de curent alternativ:

I — electromagneți monofazați (*a* — electromagnet în formă de U, cu o singură bobină; *b* — electromagnet în formă de U, cu două bobine; *c* — electromagnet în dublu E, inegal); *II* — miezul unui electromagnet monofazat cu circuit magnetic realizat în benzi; *III* — electromagnet trifazat.

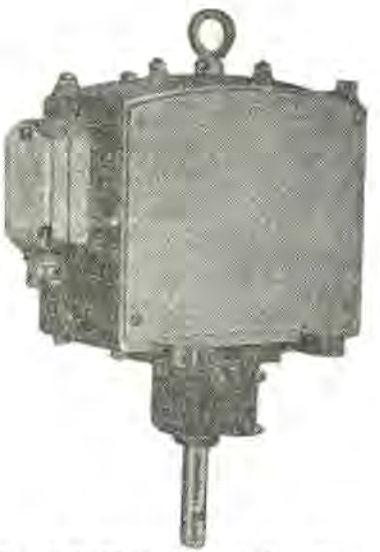


Fig. 12.6. Electromagnet de ridicare a frînei (vedere a electromagnetului trifazat reprezentat schematic în fig. 12.5, *III*).

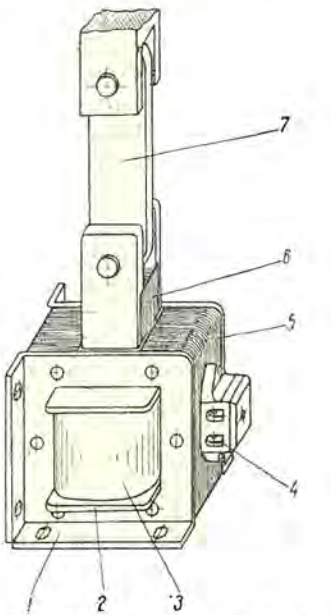


Fig. 12.7. Electromagnet de acționare:

1 — ramă de fixare pe suport; *2* — carcasa bobinei; *3* — bobină; *4* — borne de alimentare a bobinei; *5* — pachet de tole (armătură fixă); *6* — armătură mobilă; *7* — element flexibil de legături la organul acționat.

Dintre formele de electromagneți reprezentate în figura 12.5, cel mai mult utilizate sînt:

— *electromagnetul în dublu E*, cu armătura mobilă identică cu partea fixă, această formă fiind utilizată îndeosebi la contactoarele pînă la 100 A, la care armătura mobilă se deplasează prin translație;

— *electromagnetul în formă de U*, cu două bobine, folosit îndeosebi la contactoarele mari, cu mișcare de rotație a armăturii. Prin împărțirea bobinei în două jumătăți, se realizează o importantă economie de cupru (la același număr total de spire, lungimea spirei medii este mult mai mică);

— *electromagnetul în formă de U, realizat prin benzi* (fig. 12.5, *II*), permite mecanizarea și automatizarea mai simplă a fabricației;

— *electromagnetul trifazat* (fig. 12.5, *III*) se folosește acolo unde puterea necesară depășește 5 ... 8 daN la 10 ... 20 mm cursă. Construcțiile uzuale se realizează pentru forțe de 15 ... 20 daN la un întrefier de 50 mm (fig. 12.6).

C. TEHNOLOGIA DE FABRICAȚIE

1. MIEZUL MAGNETIC

Circuitul magnetic al magneților de curent continuu fiind de oțel masiv, se obține de obicei prin turnare și prelucrare la strung.

Pentru a se obține o ghidare bună a armăturii mobile în interiorul bobinei, se folosește de obicei un tub de ghidare din material nemagnetic (alamă).

La electromagneții de curent continuu există în mod deosebit pericolul ca, după întreruperea curentului, miezul magnetic să păstreze un magnetism remanent și, datorită acestuia, armătura mobilă să „rămînă lipită" (atrasă). Aceasta se previne asigurînd între armături, chiar în poziția „închis", un întrefier de 0,1 ... 0,2 mm.

Pentru fabricarea miezului magneților de curent alternativ sînt necesare următoarele **operații**:

— *ștanțarea tolelor* din foi sau benzi de tablă silicioasă;
— *debavurarea tolelor* prin polizare;
— *izolarea tolelor;*
— *asamblarea pachetelor;*
— *fixarea spirei în scurtcircuit* (fig. 12.8);
— *vopsirea sau acoperirea anticorosivă;*
— *verificarea suprafețelor de lucru;*
— *asamblarea;*
— *verificări electrice și funcționale.*

● **Fixarea spirei de scurtcircuit** pe polul magnetului este o problemă deosebit de importantă, deoarece loviturile repetate care se produc la închiderea electromagnetului pot provoca desprinderea sau ruperea spirei, ceea ce atrage după sine funcționarea nesigură și cu zgomot mare a electromagnetului. Unele metode de fixare sînt indicate în figura 12.8. Dintre acestea, metoda cea mai bună de fixare este cea din figura 12.8, *c*, deoarece spira este reținută de două laturi. O metodă mai nouă și mai sigură de fixare a spirei în scurtcircuit este cea indicată în figura 12.8, *e*, unde fixarea unei spire sudate din liță este realizată cu ajutorul unui adeziv elastic (cauciuc siliconic). *Aceasta*

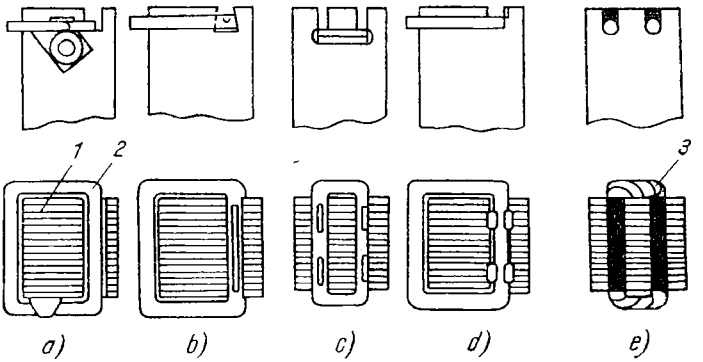


Fig. 12.8. Metode de fixare a spirei în scurtcircuit la electromagneți de curent alternativ:

a — fixare cu ajutorul unei agrafe de tablă; *b* și *c* — fixare prin ștemuirea spirei de cupru; *d* fixare prin ștemuirea miezului magnetic; *e* — fixare cu ajutorul unui adeziv elastic; *1* — miez magnetic; *2* — spiră de cupru masiv; *3* — spiră în scurtcircuit din liță sudată.

reprezintă metoda de fixare cea mai sigură și mai productivă cunoscută în prezent.

● **Rectificarea suprafețelor de lucru.** Pentru ca electromagneții de curent alternativ să funcționeze corect și fără vibrații, este necesar ca suprafețele de lucru să fie absolut plane, lucru care se obține prin prelucrarea acestor suprafețe pe mașini de rectificat, cu masă magnetică.

Pentru a se asigura desprinderea imediată a armăturii la întreruperea alimentării bobinei, este necesar să se asigure un mic întrefier între armăturile închise.

Soluțiile mai vechi prevedeau nituri de cupru în suprafața de lucru a electromagnetului sau înălțarea spirei în scurtcircuit. Aceste soluții au fost părăsite deoarece, în timpul funcționării, închiderea — întotdeauna brutală — a armăturii, sfîrșea prin a turti nitul, eliminînd acest întrefier.

În prezent, soluția practic generalizată la electromagneții în formă de E este de *a se lăsa mai scurt miezul mijlociu* (fig. 12.9, *a*). Acest lucru se realizează la operația de rectificare, folosind pietre profilate care prelucrează dintr-o singură prindere atît coloanele exterioare, cît și miezul central.

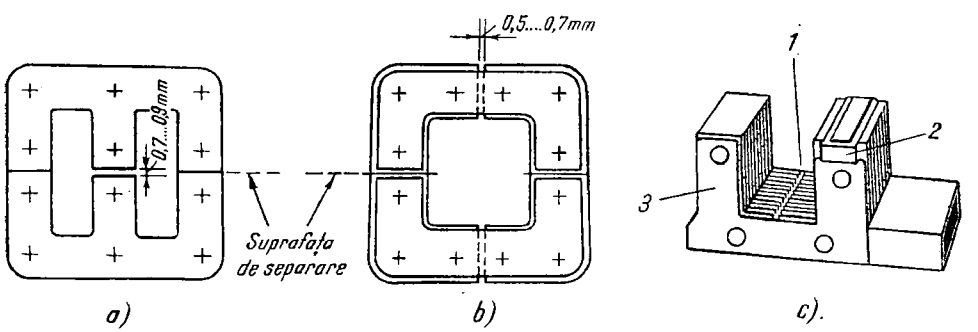


Fig. 12.9. Realizarea întrefierului fix în electromagneți pentru contactoare:

a — electromagnet în formă de E; *b* și *c* — electromagnet în formă de U; *1* — întrefier fix; *2* — spiră în scurtcircuit; *3* — tolă de capăt.

Avîndu-se în vedere că în timpul funcționării coloanele exterioare se turtesc puțin, se asigură pe coloana centrală un întrefier de 0,7 ... 0,9 mm.

La electromagneții în formă de U se obține un întrefier fix de 0,5 ... 0,7 mm, realizînd miezul din două pachete de tole în L, fixate cu ajutorul tolelor de margine (fig. 12.9, *b* și *c*).

2. BOBINA

● **Carcasa bobinei** se realizează prin presare, din rășini termoreactive (bachelitice).

● Pentru **execuția bobinei** se folosesc conductoare izolate cu email.

● Pentru a se asigura o durată de serviciu suficient de mare a bobinei, se iau măsuri de **impregnare** a acesteia și se dă o foarte mare atenție execuției legăturilor sale la bornele de alimentare.

În ceea ce privește impregnarea, se folosesc soluții diferite, de la simpla *lăcuire exterioară* (la electromagneții pentru utilizări normale), pînă la *impregnarea prin imersie* și chiar *impregnarea sub vid* (la electromagneții destinați să funcționeze în climat tropical).

Drept lacuri de impregnare se folosesc: lacuri bachelitice, rășini poliesterice sau rășini de turnare epoxidice.

Date fiind șocurile numeroase și brutale pe care le suportă în funcționare bobinele electromagneților, se fixează cu benzi adezive atît începutul cît și sfîrșitul înfășurării, iar ieșirile se execută fie cu liță elastică, fie răsucindu-se în patru conductorul bobinei, pe porțiunea cu funcție de legătură la borne. Această operație poate fi executată de anumite mașini automate de bobinat

D. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA ELECTROMAGNEȚILOR

La montarea și în cursul exploatării unui electromagnet, trebuie să se verifice în primul rînd dacă solicitările la care el este supus nu sînt mai mari decît cele pentru care a fost construit și care sînt înscrise pe plăcuța sa. Se **verifică** în mod deosebit:

- *dacă tensiunea de serviciu corespunde cu tensiunea nominală a bobinei;*
- *dacă sarcina pe care o are de ridicat nu este prea mare sau prea mică* (o sarcină prea mică duce la închiderea deosebit de brutală a armăturilor). Sarcina corectă este cuprinsă între 70 și 95% din forța nominală la cursă nominală;
- *dacă întrefierul* (cursa armăturii mobile) *nu s-a mărit peste valoarea normală;*
- *dacă regimul de funcționare* (numărul de conectări pe oră și durata relativă de conectare) *corespunde celui nominal;*
- *dacă armătura mobilă se deplasează ușor,* fără blocări pe parcurs.

Nerespectarea oricăreia dintre condițiile de mai sus poate provoca arderea bobinei.

- Se verifică de asemenea, imediat după scoaterea de sub tensiune a electromagnetului, *dacă miezul magnetic nu prezintă încălziri locale exagerate,* care pot fi provocate de deteriorarea izolației dintre tole sau de crearea unor spire parazite în scurtcircuit.

• Se verifică *dacă, în timpul lucrului, electromagnetul nu vibrează prea tare*, fapt care se poate datora:

— întreruperii spirei în scurtcircuit;

— unei tensiuni de alimentare prea coborîte;

— unor resoarte antagoniste prea puternice;

— ghidării incorecte a armăturii mobile.

• La electromagneții care funcționează în mediu umed, *se verifică starea miezului magnetic și lipsa coroziunilor.*

Electromagnetul funcționează bine dacă:

— la închiderea circuitului bobinei, armătura se închide prompt, fără frecări sau ezitări pe parcurs;

— în starea „închis" nu vibrează prea puternic;

— la întreruperea alimentării bobinei, armătura mobilă se desprinde imediat și complet, fără ezitări sau frecări pe parcurs.

La executarea montajului se va avea grijă ca armătura mobilă să se deplaseze pe cît posibil vertical, evitîndu-se solicitări ale acesteia, perpendiculare pe direcția de deplasare. În acest sens, legătura armăturii mobile la elementele acționat va fi întotdeauna o legătură care să nu transmită eforturi transversale (v. fig. 12.7).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Să se descrie principalele tipuri de electromagneți de curent alternativ.
2 — Care sînt principalele operații tehnologice de realizare a miezului magnetic la electromagneții de curent alternativ?
3 — Care este rolul spirei în scurtcircuit?
4 — Enumerați verificările care se fac asupra electromagneților în timpul funcționării și explicați scopul acestora.

Capitolul 13

REDRESOARE

● A. CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA REDRESOARELOR CU PLĂCI DE SELENIU ● B. SCHEME DE REDRESARE ● C. MONTAREA REDRESOARELOR CU SELENIU ● D. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA REDRESOARELOR CU SELENIU ● E. REDRESOARE CU SILICIU

Pentru alimentarea electromagneților de curent continuu se folosesc *redresoare statice cu plăci de seleniu,* iar în ultimul timp încep să se introducă și *redresoare cu siliciu.*

Construcția și utilizarea redresoarelor, *ca surse de curent continuu* nu intră în activitatea întreprinderilor de *aparataj electric* și nu formează obiectul acestui manual. De aceea redresoarele vor fi tratate numai *ca elemente componente* ale unor aparate electrice.

A. CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA REDRESOARELOR CU PLĂCI DE SELENIU

Elementul de bază în construcția redresoarelor cu seleniu îl constituie *plăcile redresoare.* Acestea pot avea formă rotundă, dreptunghiulară sau pătrată, cu dimensiuni variind de la 20 × 20 mm pînă la 200 × 500 mm, dimensiunile uzuale fiind de ordinul a 100 × 100 mm.

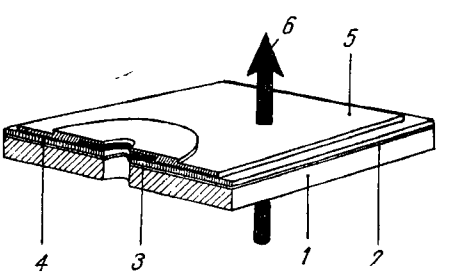


Fig. 13.1. Placă redresoare cu seleniu (reprezentare schematică):

1 — placă-suport din oțel sau aluminiu; *2* — peliculă intermediară; *3* — peliculă de seleniu; *4* — zonă de separație; *5* — peliculă din aliaj cadmiu-staniu; *6* — sensul de trecere a curentului.

● **Plăcile redresoarelor cu seleniu sînt formate** dintr-o *placă de bază* din oțel sau aluminiu *pe care,* prin procedee speciale, *s-au depus* (fig. 13.1):

— o peliculă metalică bună conducătoare, intermediară, de obicei din bismut (grosimea 0,5 ... 1,5 μm);

— un strat de seleniu, depus prin vaporizare în vid avansat, formînd *anodul* (grosimea 50 ... 60 μm);

— o peliculă metalică formată dintr-un aliaj special pe bază de cadmiu și staniu (fig. 13.1), formînd *catodul.*

● **Funcționarea redresoarelor cu seleniu** se bazează pe proprietatea zonei

de separație dintre seleniu și aliajul staniu-cadmiu, numită *suprafața de blocare*.

Dacă se aplică polul pozitiv al unei surse de curent continuu la anodul unui element semiconductor cu seleniu și polul negativ al sursei la catodul acestui element, se constată următoarele (fig. 13.2):

— la valori ale tensiunii aplicate mai mici decît 0,5 ... 0,6 V, curentul debitat crește relativ încet cu tensiunea aplicată. Peste această valoare, unei creșteri reduse a tensiunii aplicate îi corespunde o creștere rapidă a curentului ce străbate placa. Rezultă de aici că tensiunea de 0,5 ... 0,6 V constituie pragul de tensiune peste care placa redresoare poate fi folosită în mod corespunzător;

— dacă se inversează polaritatea tensiunii aplicate și se repetă încercarea mărind progresiv tensiunea, se constată că pînă la o anumită valoare, de ordinul a 20 ... 30 V, curentul care străbate placa crește proporțional cu tensiunea, *dar are valori foarte mici* (în acest sens de trecere a curentului, placa redresoare se comportă ca o rezistență ohmică de valoare foarte mare). Dacă valoarea tensiunii aplicate crește mai mult, curentul care străbate placa începe să crească foarte repede. Tensiunea corespunzătoare acestei modificări a caracteristicii se numește *tensiune inversă* sau *tensiune de zăvorîre*.

○ **Rezultă că** *plăcile redresoare cu seleniu pot fi folosite numai dacă tensiunea aplicată în sensul de trecere depășește 0,6 V, iar tensiunea aplicată în sens contrar rămîne mai mică decît tensiunea inversă.*

Pragul de 0,6 V este practic același la orice placă redresoare cu seleniu și, deoarece tensiunile folosite în instalații de curenți tari depășesc cu mult această valoare, el nu se mai indică în documentația tehnică ce însoțește plăcile redresoare.

Valoarea tensiunii inverse se indică întotdeauna în documentația tehnică a plăcilor și exprimă, în volți, *cea mai mare valoare efectivă a tensiunii alternative ce poate fi aplicată plăcii, astfel încît placa să-și poată îndeplini corect funcția de element redresor.*

În prezent, se folosesc plăci cu tensiunea inversă de 25 ... 40 V.

Pentru o placă redresoare de mărime dată, trebuie să se cunoască:

— valoarea tensiunii inverse;

— valoarea curentului redresat maxim cu care poate fi încărcată placa un timp oricît de lung, fără ca încălzirea sa să depășească limitele admise.

Aceste două valori se găsesc întotdeauna indicate în documentația tehnică a plăcilor redresoare.

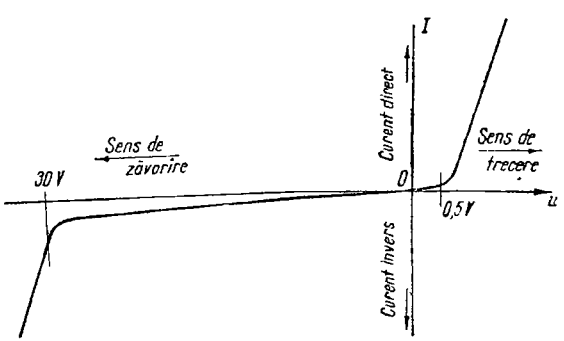


Fig. 13.2. Caracteristica tensiune-curent a unei plăci redresoare cu seleniu.

Întreprinderile de aparate electrice primesc redresoarele cu seleniu sub formă de plăci sau blocuri redresoare gata montate de la întreprinderi specializate în fabricația de redresoare, astfel încît, în cele ce urmează se va studia numai alegerea și utilizarea corectă a redresoarelor.

B. SCHEME DE REDRESARE

Mărimea (suprafața) unei plăci redresoare determină valoarea curentului continuu pe care aceasta îl poate suporta; *dacă sînt necesari curenți mai mari decît poate suporta o singură placă, se folosesc mai multe plăci în paralel,* astfel încît intensitatea care revine unei singure plăci să fie mai mică sau cel mult egală cu cea maximă admisă (densitatea de curent admisibilă în placă, fără mijloace speciale de răcire este de 0,02 ... 0,03 A/cm^2).

În mod analog, *dacă este necesară o tensiune continuă mai mare decît aceea care corespunde tensiunii inverse care revine unei singure plăci, se folosesc mai multe plăci redresoare montate în serie.*

Pentru a se obține o tensiune redresată cît mai lipsită de ondulații și pentru a se realiza redresarea atît a curentului alternativ monofazat, cît și a curentului alternativ trifazat, în condiții cît mai bune, cu utilizarea optimă a plăcilor redresoare, se folosesc diferite **scheme de conexiuni**, dintre care cele mai frecvent folosite sînt cele din figura 13.3.

Fiecăreia din aceste scheme de redresare îi corespunde un anumit raport între valoarea eficace a tensiunii alternative aplicate și valoarea medie a tensiunii continue obținute. Acest raport este independent de tipul de placă folosit, de mărimea acesteia și de valoarea tensiunii inverse, deci este constant. Rezultă că pentru aceeași schemă de redresare, valoarea tensiunii continue care se poate obține crește cu tensiunea inversă a plăcilor folosite. Valorile tensiunilor continue corespunzătoare fiecărei scheme de redresare sînt indicate în tabela 13.1.

Redresoarele cu seleniu își păstrează utilizarea în domeniul aparatajului electric (alimentarea bobinelor contactoare, alimentarea dispozitivelor de acționare etc.), îndeosebi datorită următoarelor **calități**:

• *au preț redus,* ca urmare a tehnologiei simple, care permite fabricația de serie mare și de asemenea datorită faptului că nu necesită materiale de foarte mare puritate;

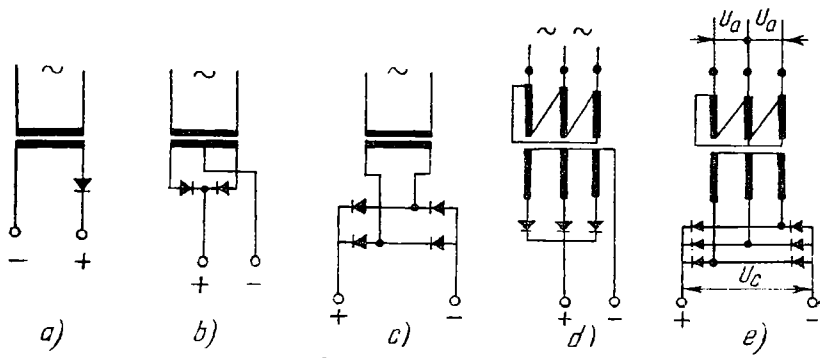


Fig. 13.3. Scheme de redresare:

a — monofazată simplă; *b* — monofazată cu priză mediană; *c* — punte monofazată; *d* — trifazată în stea; *e* — punte trifazată.

Tabela 13.1

Schema de redresare conform figurii 13.3	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*
Numărul de plăci necesare pentru schema de bază	1	2	4	3	6
Raportul dintre tensiunea alternativă aplicată (V_{ef}) și valoarea medie (U_c) a tensiunii continue obținute	0,4	0,4	0,8	0,6	1,2

- cu dispozitive de răcire simple, *permit suprasarcini importante*;
- *sînt robuste* și nu necesită dispozitive speciale de protecție;
- *se pot monta în serie* în număr oricît de mare, permițînd astfel realizarea unor surse de curent continuu de înaltă tensiune, necesare diferitelor instalații de încercare.

Totuși *redresoarele cu seleniu* au și anumite **dezavantaje**, printre care cele mai importante sînt:

— *necesitatea de a se limita temperatura de serviciu* la 75 ... 80°C;

— *densitatea mică de curent pe placă*, ceea ce, la puteri redresate mari, determină instalații foarte voluminoase.

C. MONTAREA REDRESOARELOR CU SELENIU

Pentru realizarea diferitelor scheme de redresare și pentru ușurința montării și întreținerii, plăcile redresoare cu seleniu se asamblează în „coloane redresoare" (fig. 13.4 și fig. 13.6).

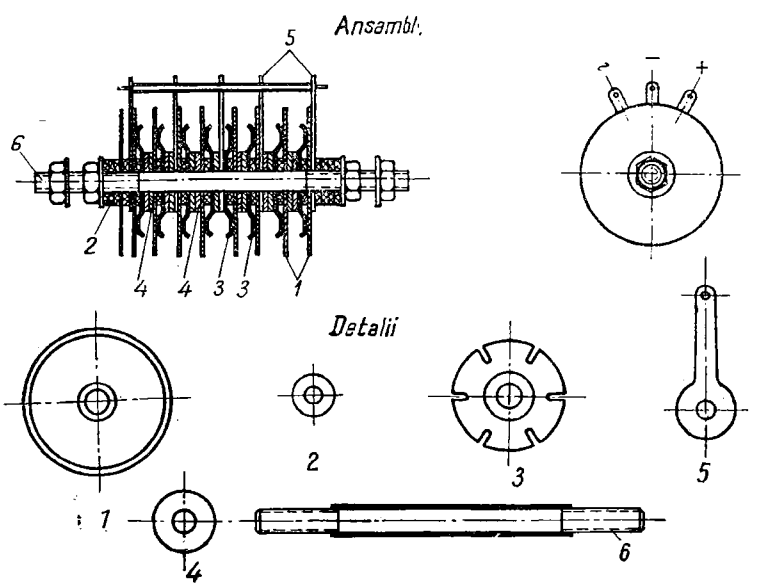


Fig. 13.4. Coloană de redresare și elemente componente.

Coloanele redresoare reprezintă *un ansamblu de plăci redresoare montate pe tije metalice izolate, plăcile fiind legate electric între ele după o anumită schemă.*

La o coloană redresoare se deosebesc următoarele **elemente** (fig. 13.4):

— *plăcile redresoare 1*;

— *rozetele de contact 3*, din tombac, care servesc la realizarea unui contact intim (în mai multe puncte) între plăci, cu presiune reglată și cu suficientă suprafață de răcire;

— *rondelele izolante 2*, care servesc la limitarea apăsării rozetelor de contact pe plăci (dacă apăsarea este prea mare, crește rezistența electrică a peliculei redresoare);

— *rondelele de distanțare 4*, care servesc ca piesă de contact între plăci, sau între acestea și stegulețe, asigurînd distanța minimă între plăci necesară răcirii acestora;

— *steguleţele 5*, care servesc pentru realizarea legăturilor electrice la sursa de curent alternativ și la consumatorul de curent continuu;

— *tija metalică izolată 6.*

○○○ **Atenție!** Plăcile redresoare cu seleniu pot fi încărcate la sarcina nominală numai dacă temperatura mediului înconjurător nu depășește 35°C (fig. 13.5). În acest caz, dacă răcirea plăcilor este corectă, temperatura lor poate depăși 75 ... 85°C. Depășirea acestei temperaturi, pînă la 100 ... 110°C, este permisă numai cu condiția reducerii sarcinii și numai dacă documentația

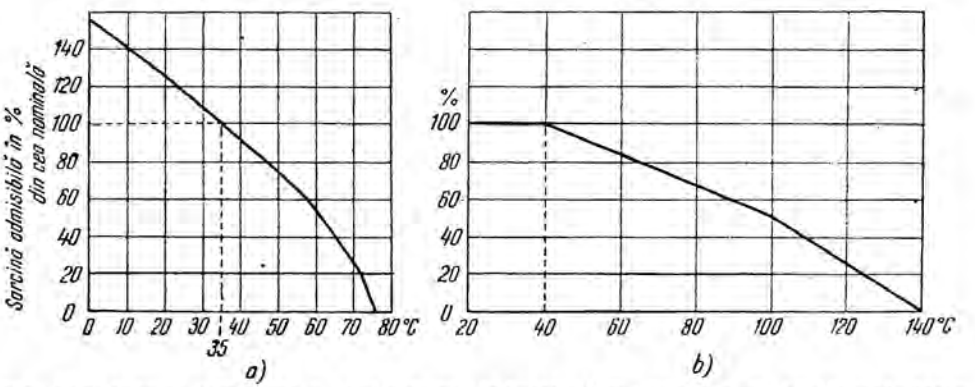


Fig. 13.5. Sarcina admisibilă a unui redresor, în funcție de temperatura mediului înconjurător:
a — redresor cu seleniu; *b* — redresor cu siliciu.

Fig. 13.6. Coloane de redresare cu seleniu asamblate.

tehnică a producătorului permite aceasta. În caz contrar, *prin supraîncălzire, plăcile se distrug.*

Se poate obține o încărcare mai mare a redresoarelor cu seleniu (pînă la de trei ori sarcina nominală), fără a se depăși temperatura maximă permisă de 75 sau 85°C, dacă plăcile sînt răcite prin ventilație sau prin introducere în ulei. Tot în scopul unei răciri mai bune a plăcilor redresoare, coloanele se montează întotdeauna astfel încît plăcile să stea în poziție verticală, dînd astfel posibilitatea mediului de răcire să circule ușor printre plăci. Plăcile redresoare în formă dreptunghiulară se montează cu latura mică vertical.

○○○ **Important.** Trebuie să se evite plasarea coloanelor redresoare în vecinătatea sau deasupra unor surse de căldură (radiatoare, rezistențe, siguranțe fuzibile).

D. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA REDRESOARELOR CU SELENIU

În general, redresoarele fiind aparate statice, nu necesită o întreținere specială. Totuși, **trebuie să se verifice periodic:**

- *dacă unele plăci nu se încălzesc în mod exagerat;*
- *dacă temperatura camerei, tensiunea alternativă aplicată și curentul din circuitul de curent continuu nu depășesc valorile admise;*
- *dacă redresorul este suficient ventilat și nu au fost plasate în vecinătatea sa surse de căldură* (radiatoare, sobe, țevi calde, lămpi cu filament etc.);
- *dacă între plăcile redresoare nu s-a depus praf sau dacă plăcile nu au fost atacate de umezeală sau de substanțe chimice corosive.*

Pentru mediu cu umezeală pronunțată, pentru climat tropical și pentru atmosferă cu conținut bogat în substanțe chimice, se folosesc plăci redresoare protejate cu lacuri speciale de acoperire.

○○○ **Este interzisă** *curățirea pe cale mecanică a plăcilor pe suprafața de contact.*

Depozitarea plăcilor se face în spații uscate, avîndu-se grijă să nu se așeze prea multe plăci unele peste altele, deoarece presiunile prea mari determină o reducere a tensiunii inverse.

În cazul unei atmosfere chimic agresive și îndeosebi în atmosferă conținînd urme de mercur, se evită folosirea în aer liber a unor plăci redresoare neprotejate, preferîndu-se protecția în ulei.

E. REDRESOARE CU SILICIU

În situațiile în care se cer puteri redresate relativ mari, funcționare la temperaturi pînă la 80 ... 140°C sau rezistență mare la șocuri și vibrații, se folosesc **redresoare cu siliciu** (fig. 13.7).

Elementul redresor îl constituie o plăcuță de cristal de siliciu care impurificată cu cantități foarte mici de anumite materiale, capătă proprietăți redresoare (are o rezistență foarte coborîtă într-un *anumit sens* de trecere

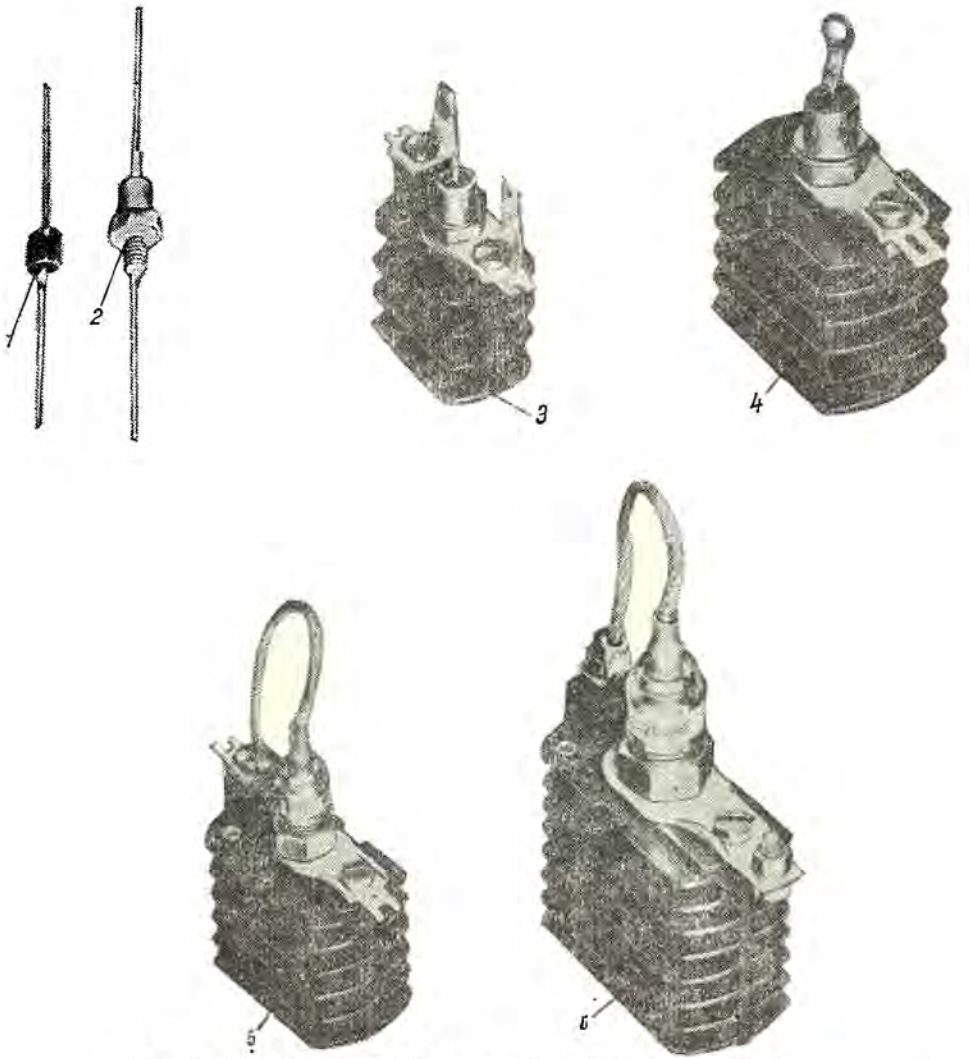


Fig. 13.7. Redresoare cu siliciu de diferite intensităţi nominale:

1 — capsulat în sticlă; *2* — capsulat în metal şi ceramică fără element de răcire; *3*...*6* — tipuri de intensităţi nominale mari, cu element de răcire din aluminiu.

a curentului şi o rezistenţă foarte mare în sensul opus de trecere a curentului electric).

Redresoarele cu siliciu suportă *densităţi foarte mari de curent* (pînă la 200 A/cm², faţă de 0,05 A/cm² la seleniu), dar fiind *foarte sensibile la supratemperaturi şi la suprasarcini*, trebuie luate măsuri speciale de răcire şi de protecţie.

Densităţile mari de curent realizabile la redresoarele cu siliciu permit realizarea unor puteri unitare mari (pînă la 400 A/element, la o tensiune inversă pînă la 800 V) şi randamente de ordinul a 99,8%.

Ele corespund astfel îndeosebi utilizărilor industriale ca surse puternice de curent continuu, dar perfecționările aduse, robustețea mecanică și comportarea mai bună la temperaturi ridicate fac ca ele să pătrundă treptat și în domeniul aparatajului electric (îndeosebi la celule de intensități nominale mici: 0,5 ... 50 A).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Să se descrie construcția și funcționarea redresoarelor cu plăci de seleniu.
2 — Cum se montează plăcile cu seleniu în coloane redresoare?
3 — Ce verificări periodice se execută asupra redresoarelor?

Capitolul 14

ELEMENTE ARCUITOARE

● A. MATERIALE FOLOSITE PENTRU ELEMENTELE ARCUITOARE ● B. RESOARTE METALICE ● C. UTILIZAREA CORECTĂ A RESOARTELOR

Diferite condiţii legate de principiul de funcţionare al fiecărui aparat în parte, impun adesea folosirea unor piese cu proprietăţi arcuitoare, constituite de obicei din resoarte metalice.

Cele mai frecvente *utilizări* ale elementelor arcuitoare, în construcţia aparatelor electrice, sînt:

— asigurarea presiunii în contact;
— deschiderea bruscă a aparatelor de conectare prin acumulare de energie în timpul închiderii;
— amortizarea mişcării unor organe la capătul cursei;
— legarea elastică între diferite organe ale unor mecanisme;
— preluarea jocurilor de dilatare;
— asigurarea piuliţelor împotriva deşurubării.

A. MATERIALE FOLOSITE PENTRU ELEMENTELE ARCUITOARE

Materialele cele mai folosite pentru realizarea elementelor arcuitoare sînt:

- unele *aliaje pe bază de cupru, cu proprietăţi elastice;*
- *oţeluri speciale pentru arcuri;*
- *cauciucul* şi unele materiale plastice.

1. MATERIALE ARCUITOARE DIN ALIAJE DE CUPRU

Toate materialele arcuitoare pe bază de cupru se folosesc aproape exclusiv sub formă de benzi laminate şi sînt singurele care pot prelua şi rolul de elemente conducătoare de curent.

● **Alama** — aliajul cuprului cu zincul (63% cupru) — are în stare laminată anumite proprietăţi arcuitoare. Ea este folosită pentru realizarea pieselor de contact cu arcuire proprie, în construcţia unor aparate de joasă tensiune (întreruptoare cu pîrghie, contacte de semnalizare etc.). Proprietăţile

elastice ale alamei sînt însă modeste și se pierd la temperaturi de ordinul a 200°C.

● **Tombacul**, un alt aliaj pe bază de cupru și zinc, dar cu conținutul mai mare de cupru (80 ... 85% Cu), are în stare laminată proprietăți elastice remarcabile; este folosit ca elementul de contact cu arcuire proprie, în construcția a numeroase aparate electrice de joasă și înaltă tensiune.

● **Bronzurile pe bază de staniu** au proprietăți arcuitoare apropiate de cele ale tombacului, dar de asemenea își pierd proprietățile arcuitoare la temperaturi în jurul a 200°C.

Conductivitatea lor electrică este numai 14 ... 16% din cea a cuprului, lucru care trebuie luat în considerație la dimensionarea acestor elemente, atunci cînd ele sînt și căi de curent.

● **Bronzurile cu beriliu** (1,2 ... 2,1% beriliu) sînt aliaje de cupru special elaborate pentru a servi ca materiale arcuitoare, fiind *cele mai bune materiale pe bază de cupru, cu proprietăți elastice*. Se disting prin comportare bună la temperaturi pînă la 300°C, dar prețul lor este de circa 10 ori mai mare decît cel al bronzurilor comune.

Conductivitatea electrică a bronzurilor cu beriliu este 20 ... 30% din cea a cuprului

Este folosit îndeosebi ca suport elastic pentru unele contacte electrice, contactul putînd să fie lipit sau sudat de suport fără ca acesta să-și piardă proprietățile elastice.

2. OȚELURI SPECIALE PENTRU RESOARTE

Oțelurile speciale pentru resoarte constituie materialul principal folosit în fabricația elementelor arcuitoare pentru aparate electrice.

● Cele mai utilizate sînt **oțelurile rotunde, trase**, cu prelucrare la rece, cunoscute sub denumirea de *oțeluri coardă de pian*.

● Se folosesc de asemenea **benzi laminate** din oțel, pentru realizarea resoartelor lamelare.

● Pentru solicitări deosebit de grele, ca, de exemplu: temperaturi de lucru peste 250°C, mediu corosiv, frecvență de lucru foarte mare etc., se folosesc **sîrme de oțel șlefuite și lustruite**, care au o durată de viață (exprimată în număr de flexiuni) cu 30 ... 50% mai mare, precum și oțeluri inoxidabile sau aliaje speciale de oțel cu adaos de crom și vanadiu.

● Pentru solicitări grele și eforturi mecanice mari, se întrebuințează **oțeluri cu prelucrare la cald** (forjare sau formare la temperaturi de ordinul a 850 ... 950°C).

3. PIESE ELASTICE DIN CAUCIUC

În construcția aparatelor electrice de înaltă tensiune și a dispozitivelor de acționare a acestora, sînt necesare uneori elemente elastice care să frîneze și, la sfîrșitul cursei, să amortizeze mișcarea elementelor mobile. În acest scop servesc elementele elastice din cauciuc (fig. 14.1); ele au avantajul de a fi

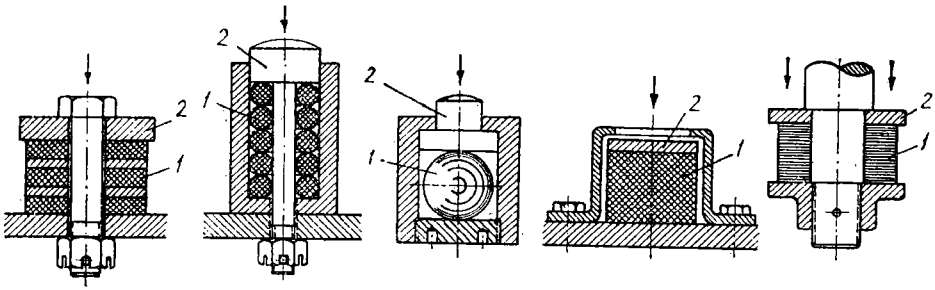


Fig. 14.1. Amortizoare folosind elemente elastice din cauciuc:
1 — element elastic; *2* — element mobil.

relativ ieftine şi de a se prelucra uşor, dar au dezavantajul îmbătrînirii în timp, al lipsei de rezistenţă a cauciucului la acţiunea uleiurilor minerale şi a solvenţilor şi al unei amortizări imperfecte (cu multe oscilaţii).

Cauciucul este un material *elastic* dar *nu compresibil*. De aceea, dispozitivele care folosesc cauciucul drept element elastic de amortizare trebuie să fie astfel concepute, încît elementele de cauciuc să aibă liberă cel puţin o direcţie pentru a se deforma atunci cînd sînt apăsate de elementul mobil (v. fig. 14.1).

○○○ **Atenţie.** Cauciucul este atacat de uleiurile minerale şi trebuie ferit de contactul cu acestea.

B. RESOARTE METALICE

Forma pe care o iau elementele arcuitoare folosite în construcţia aparatelor electrice poate fi foarte diferită, ea trebuind să se încadreze cît mai bine în ansamblul construcţiei. Oricare ar fi însă în detaliu această formă, ea se încadrează în general într-una dintre următoarele **forme de bază**:

- *resoarte lamelare;*
- *resoarte elicoidale;*
- *resoarte spirale;*
- *resoarte-disc.*

1. RESOARTE LAMELARE

Resoartele lamelare se realizează de obicei prin ştanţare din benzi sau foi de material arcuitor. Sub această formă se realizează cea mai mare parte a elementelor arcuitoare conducătoare de curent, confecţionate din aliaje de cupru (fig. 14.2).

În construcţia aparatajului electric se folosesc în proporţie mai redusă şi resoarte lamelare, realizate prin ştanţare din benzi de oţel (fig. 14.3).

Practic, toate resoartele lamelare utilizate în construcţia aparatelor electrice sînt folosite cu scopul de a se obţine presiunea necesară în contacte.

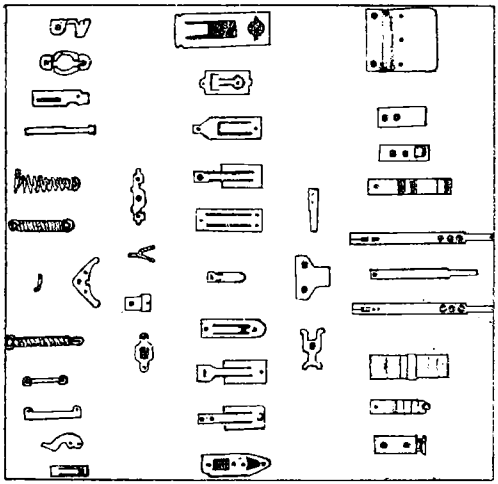


Fig. 14.2. Diferite forme de elemente arcuitoare realizate din bronz cu beriliu, pentru aparate electrice de joasă tensiune.

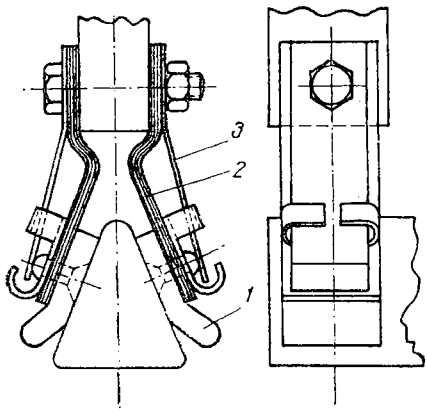


Fig. 14.3. Contacte-deget pentru întreruptoare de înaltă tensiune cu ulei mult, avînd elemente elastice din bandă de oțel:

1 — deget de contact; *2* — legătură flexibilă [bună conducătoare de curent; *3* — element arcuitor [din bandă de oțel (resort lamelar).

2. RESOARTE ELICOIDALE

Resoartele elicoidale se întîlnesc în construcția aparatajului electric ca resoarte *de întindere* sau *de compresiune*. Se folosesc acolo unde este necesară o deplasare liniară a forței, iar eforturile și cursa necesară sînt relativ mari (contacte, întreruptoare, mecanisme de închidere a întreruptoarelor etc.). Se realizează practic numai din oțeluri coardă de pian. Formele uzuale sînt reprezentate în figura 14.4, *a*. Resoartele din sîrmă de diametru mic (sub 1 mm) se prind de piesa care transmite efortul de întindere, cu ajutorul unor ochiuri de prindere obținute prin îndoirea capătului resortului (fig. 14.4, *a*). Pentru resoartele din sîrmă cu diametrul mai mare de 1 mm, se folosesc în acest scop piulițe (fig. 14.5, *a*) sau piese speciale din tablă de oțel (fig. 14.5, *b*, *c*, *d*).

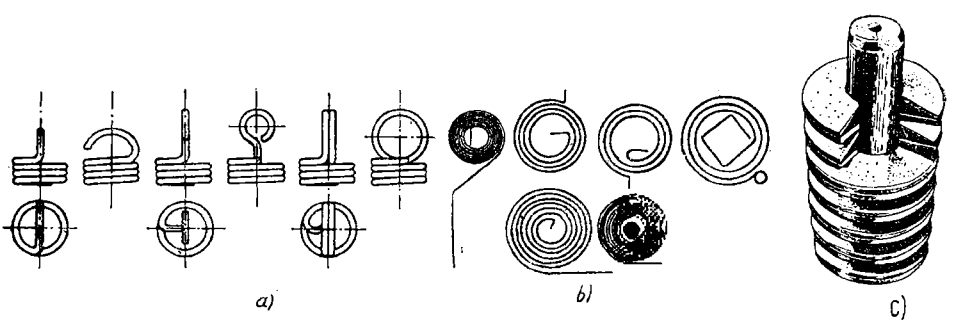


Fig. 14.4. Resoarte din oțel. Ferme constructive:

a — resoarte elicoidale cilindrice; *b* — resoarte spirale (plane); *c* — pachet de resoarte disc.

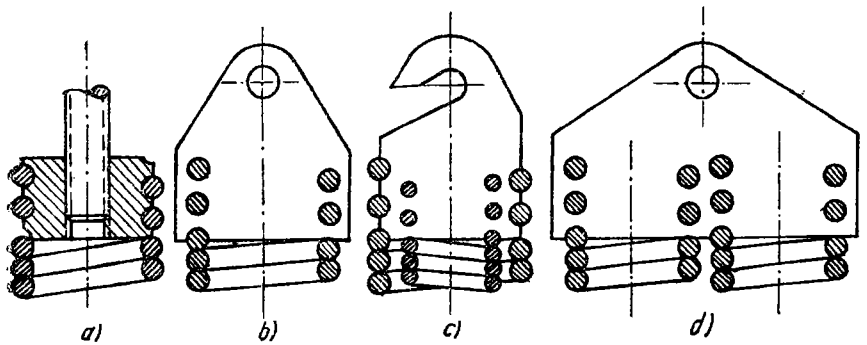


Fig. 14.5. Modul de fixare a resoartelor elicoidale mari, de întindere, folosite la dispozitivele de acționare a întreruptoarelor de înaltă tensiune.

3. RESOARTE SPIRALE

Resoartele spirale se folosesc la diferite mecanisme, acolo unde trebuie să se obțină, într-un spațiu restrîns, o acumulare de energie sub forma unui cuplu de rotație.

Se realizează de obicei din bandă de oțel albastru; cîteva forme constructive sînt reprezentate în figura 14.4, *b*.

4. RESOARTE-DISC

Resoartele-disc se folosesc acolo unde este necesar un efort axial de compresiune important, fiind caracterizate prin *efort mare la cursă relativ mică*. Se realizează întotdeauna prin ștanțare din tablă de oțel de arc.

Pentru a se obține curse utile mai mari ale forței elastice, se folosesc *pachete de discuri*, montate perechi pe un ax central, așa ca în figura 14.4, *c*.

Față de resoartele elicoidale, care pot să fie și ele realizate ca resoarte de compresiune, resoartele-disc prezintă următoarele avantaje:

- *lipsește pericolul de flambare* în timpul compresiunii;
- *la destindere nu oscilează* de loc (mișcare foarte puternic amortizată);
- *cursa și efortul se pot regla ușor*, prin adăugare sau scoatere de discuri;
- la aceeași energie acumulată, *spațiul necesar este redus*.

Resoartele-disc sînt folosite în construcția aparatelor electrice, îndeosebi pentru a realiza presiunea de contact necesară la îmbinări între barele de aluminiu și ca element elastic pentru aruncarea în construcția de ștanțe.

În figura 14.6 sînt reprezentate diferite forme de resoarte pentru aparate electrice.

C. UTILIZAREA CORECTĂ A RESOARTELOR

Materialele arcuitoare sînt fabricate într-o gamă foarte largă de sortimente, fiecare din ele avînd domeniul său specific de utilizare, modul și temperaturile de prelucrare și de utilizare bine definite. De aceea, este absolut

necesar ca materialele arcuitoare să fie depozitate distinct, pe sortimente, avînd fiecare din ele marcate vizibil calitatea și dimensiunile.

Depozitarea trebuie să se facă în locuri uscate, deoarece oțelurile de arc ruginesc în prezența unei umidități prea mari.

○○○ **Important.** *Toate materialele arcuitoare își pierd proprietățile elastice, dacă depășesc anumite temperaturi care sînt de ordinul a:*

200°C pentru piesele din tombac și bronz fosforos;

250°C pentru oțelurile de arc comune;

Fig. 14.6. Diferite forme de resoarte pentru aparate electrice.

300°C pentru piesele de bronz cu beriliu;

350 ... 500°C pentru anumite oțeluri de arc special elaborate.

Pentru a se evita pierderea proprietăților elastice ale resoartelor, lucru care poate provoca distrugerea aparatelor, este necesar să se verifice în exploatare temperaturile pe care le ating. Din acest punct de vedere, deosebit de solicitate sînt resoartele care asigură presiunea pe contacte și, de aceea, după scurtcircuite în instalație, trebuie să se verifice, pe lîngă starea contactului, și starea resoartelor respective (se verifică vizual dacă au fost atinse de arcul electric și, cu un dinamometru, dacă nu și-au pierdut din elasticitate).

Se verifică de asemenea dacă, datorită acțiunii mediului, resoartele nu prezintă coroziuni.

La proiectarea aparatelor se are în vedere ca *resoartele din oțel să nu fie plasate în vecinătatea unor cîmpuri magnetice puternice*, și, îndeosebi, *să nu fie folosite și drept căi de curent.*

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Să se enumere materialele arcuitoare și domeniile lor de utilizare.
2 — Care sînt tipurile constructive (formele) cele mai des întîlnite la resoartele metalice?
3 — Avînd în vedere avantajele resoartelor disc în raport cu cele elicoidale de compresie, avantaje arătate la punctul B.4 al acestui capitol, încercați să deduceți care sînt totuși domeniile de utilizare, în construcția aparatelor electrice, unde resoartele elicoidale de compresie sînt de preferat resoartelor disc.

Partea a IV-a

APARATE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

- Metode de stingere a arcului electric la aparatele de joasă tensiune.
- Aparate de conectare manuală.
- Aparate de comandă manuală a mașinilor electrice rotative.
- Aparate de comandă automată a motoarelor și circuitelor electrice.
- Aparate auxiliare pentru acționări industriale și automatizări.
- Siguranțe fuzibile de joasă tensiune.
- Instalații prefabricate de joasă tensiune pentru distribuția energiei electrice.
- Aparate electrice folosite în instalații de uz casnic (aparataj de instalații).
- Variante constructive corespunzătoare condițiilor de mediu în care lucrează aparatele electrice.

Noțiunea de *aparat electric de joasă tensiune* cuprinde un număr foarte mare de aparate, foarte diferite între ele, atît ca domeniu de utilizare, cît și ca mod de construcție și grad de complexitate, dar îndeplinind toată funcțiunea generală de a mijloci și ușura transportul energiei electrice de la sursele de energie electrică (generatoare, transformatoare, pile, acumulatoare) la consumatorii de energie electrică (motoare electrice, transformatoare, cuptoare electrice, aparate electrocalorice, surse electrice de lumină, instalații de galvanizare etc.).

După funcțiunea pe care o îndeplinesc, aparatele de joasă tensiune se clasifică astfel:

Aparataj industrial

- Aparate de conectare manuale
  - Întreruptoare-pîrghie
  - Întreruptoare și comutatoare-pachet
  - Întreruptoare și comutatoare cu came
  - Prize și fișe industriale
- Aparate de comandă manuală a motoarelor electrice
  - Comutatoare stea-triunghi, manuale
  - Autotransformatoare de pornire
  - Inversoare manuale de sens de mers
  - Comutatoare de număr de poli
  - Reostate de pornire și reglare pentru motoare electrice
  - Reostate de excitație pentru generatoare
- Aparate de comandă automată și protecție a motoarelor electrice
  - Contactoare și ruptoare
  - Blocuri cu relee termice
  - Contactoare cu relee
  - Întreruptoare automate în aer
  - Întreruptoare stea-triunghi, inversoare și comutatoare automate
- Aparate pentru acționări industriale și automatizări
  - Butoane de comandă
  - Chei de comandă
  - Lămpi și casete de semnalizare
  - Întreruptoare de sfîrșit de cursă
  - Microîntreruptoare
  - Relee intermediare

- Aparate de protecție
  - Siguranțe fuzibile de mare putere
  - Aparate de protecție contra supratensiunilor
- Complete de aparate
  - Tablouri de distribuție capsulate
  - Celule de distribuție de joasă tensiune

Aparataj de instalații (de uz casnic)

- Prize și fișe
- Întreruptoare și comutatoare de instalații
- Întreruptoare automate de instalații
- Automate de scară
- Siguranțe fuzibile
- Tablouri de distribuție pentru instalații interioare

Practic, fiecare dintre aceste aparate se execută în mai multe variante constructive, după natura mediului în care este destinat să lucreze.

Capitolul 15

METODE DE STINGERE A ARCULUI ELECTRIC LA APARATELE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

● A. STINGEREA ARCULUI ÎN CURENT CONTINUU ● B. STINGEREA ARCULUI ÎN CURENT ALTERNATIV ● C. CAMERE DE STINGERE

Stingerea arcului electric în aparatele de comutație reprezintă o cursă între procesele de ionizare și cele de deionizare în timpul căreia se urmărește frînarea proceselor de ionizare și favorizarea celor de deionizare:

- *favorizarea proceselor de deionizare* se realizează îndeosebi prin:
- folosirea unor contacte de rupere *cu punct de vaporizare cît mai ridicat*;
- *răcirea* bună a *contactelor*;
- menținerea unei *presiuni ridicate* în zona în care se dezvoltă arcul electric;
- *favorizarea proceselor de deionizare* se realizează îndeosebi prin:
- *răcirea* spațiului în care se dezvoltă arcul electric;
- *deplasarea arcului electric*, prin suflaj magnetic, în zone cu gaze reci sau în contact cu pereții reci ai unei „camere de stingere" *;
- *insuflarea* în zona arcului electric a *unui jet de gaze sau lichid rece*

A. STINGEREA ARCULUI ÎN CURENT CONTINUU

S-a arătat că trecerea unui gaz de la starea de izolant la cea de bun conducător de electricitate are loc în mai multe etape, fiecare dintre acestea fiind caracterizată prin anumite forme de ionizare a spațiului în care se produce descărcarea.

Dintre toate acestea, mai importante pentru înțelegerea funcționării aparatelor de înaltă și joasă tensiune, sînt ultimele faze: faza de descărcare luminescentă și faza de descărcare prin arc.

* „Cameră de stingere" = cameră de material izolant sau izolată electric față de restul circuitului, amplasată în zona de formare a arcului electric de întrerupere și concepută astfel încît să împiedice contactul arcului electric cu alte părți ale aparatelor și să favorizeze stingerea acestuia.

● În ceea ce privește **descărcarea prin arc în curent continuu** se constată următoarele:

— pentru o anumită distanță între electrozi, *căderea de tensiune în arc scade cînd valoarea curentului crește* (caracteristică negativă):

— *în coloana de arc căderea de tensiune este uniformă* și are valoarea cuprinsă între 15 ... 30 V/cm, în funcție de:

• *mărimea curentului:* cu cît intensitatea curentului care străbate arcul este mai mare, cu atît ionizarea coloanei de arc este mai intensă și deci căderea de tensiune pe centimetru lungime de arc este mai mică;

• *natura gazului:* în hidrogen sau în vapori de apă răcirea coloanei de arc este mai intensă și căderea de tensiune pe centimetru mai mare;

• *presiunea gazului:* cu cît presiunea gazului este mai mare, cu atît sînt mai stînjenite procesele de ionizare și căderea de tensiune în arc este mai mare;

• *starea de mișcare a gazului:* mișcarea gazului determină o răcire mai mare a spațiului de descărcare și o pierdere mai mare de electroni, ceea ce determină creșterea căderii de tensiune în arc;

• *în vecinătatea electrozilor, pe o distanță foarte mică* (fracțiuni de milimetru), *apare o cădere de tensiune de 20 ... 30 V, în funcție de mărimea curentului și de materialul electrozilor.* Rezultă că se poate exprima *căderea de tensiune* în arc prin relația:

$$U_a = A + Bl, \tag{15.1}$$

în care:

U_a este căderea de tensiune între electrozi, în V;

$A = 20 \ldots 30$ V — căderea de tensiune lîngă electrozi;

$B = 15 \ldots 30$ V/cm — căderea specifică de tensiune în coloana de arc;

l — lungimea arcului, în cm.

Se vede că, dacă se lungește arcul prin îndepărtarea electrozilor, căderea de tensiune în arc crește prin creșterea lungimii.

● **Stingerea arcului.** Dacă se notează cu E tensiunea sursei și cu R valoarea rezistenței exterioare a circuitului (valoarea rezistenței legate în serie cu arcul și cu sursa de tensiune E), în cazul trecerii curentului I prin circuit, rezultă:

$$E = RI + A + Bl, \tag{15.2}$$

produsul RI reprezentînd căderea de tensiune în circuitul exterior, iar suma $A + Bl$ reprezentînd căderea de tensiune în arc. Din relația

$$I = \frac{E - (A + Bl)}{R}, \tag{15.3}$$

rezultă că stingerea arcului ($I = 0$) se obține cînd:

$$E = A + Bl. \tag{15.4}$$

○ **Concluzie.** Pentru stingerea arcului de curent continuu este necesară o cădere de tensiune în arc cel puțin egală cu tensiunea sursei.

Mărirea necesară a căderii de tensiune în arc se poate obține pe una din următoarele căi:

- *creşterea lungimii arcului electric* (creşterea lui l);
- *răcirea puternică a arcului* (creşterea coeficientului B);
- *divizarea arcului.*

○ **Notă.** Căderea de tensiune în vecinătatea electrozilor (coeficientul A) poate fi influenţată mai puţin, alegerea materialelor de contact fiind dictată de mai multe considerente.

METODE DE STINGERE

a. Lungirea arcului electric

Creşterea lungimii arcului electric se obţine pe două căi:

- folosind *principiul întreruperii duble* (fig. 15.1) şi obţinînd astfel la o cursă dată a echipajului mobil, o lungime *dublă* a arcului electric;

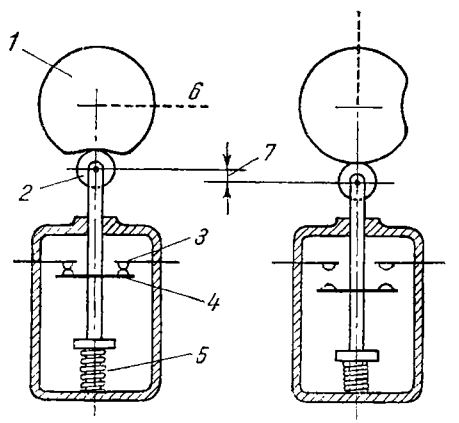


Fig. 15.1. Reprezentarea schematică a unui aparat simplu de întrerupere prevăzut cu întrerupere dublă:
1 — camă; *2* — rolă; *3* — contacte fixe; *4* — contacte mobile; *5* — resort; *6* — organ de acţionare a camei; *7* — cursa echipajului mobil.

- folosind *suflajul magnetic*, adică deplasarea arcului electric datorită forţelor electrodinamice. Dînd o formă specială contactelor (fig. 15.2), apare *efectul de buclă.*

b. Răcirea coloanei de arc

Răcirea coloanei de arc se obţine prin următoarele metode:

- *suflajul magnetic*, cînd arcul se deplasează rapid spre zone mai reci (v. fig. 15.2);
- *împingerea arcului între pereţi reci şi înguşti*, realizînd astfel o puternică deionizare a coloanei de arc.

○ **Notă.** Stingerea prin lungirea arcului electric şi cea prin răcirea coloanei de arc sînt folosite la aparate avînd *curentul nominal sub 25 A.*

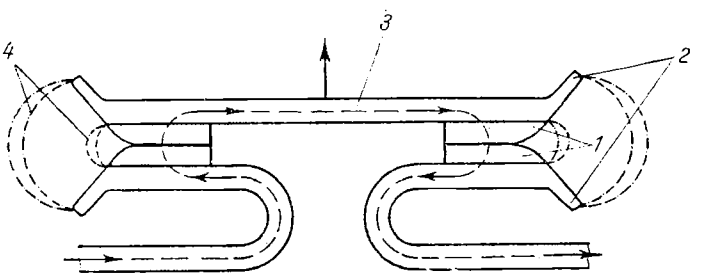


Fig. 15.2. Forma specială ce se dă circuitului de curent al unor aparate de întrerupere de joasă tensiune pentru a se favoriza îndepărtarea şi alungirea arcului prin suflaj magnetic:
1 — contacte de lucru; *2* — coarne de suflaj; *3* — puntea contactelor mobile; *4* — diferite stadii pe care le ia arcul electric după separarea contactelor.

Divizarea arcului electric (stingere prin grătare deionice)

Această metodă este eficientă în domeniul tensiunilor mai mici, fiind *specifică aparatajului de joasă tensiune.* Ea constă în divizarea arcului electric în mai multe porțiuni de arcuri scurte și se numește stingere prin grătare deionice.

Relația (15.1) arată că în valoarea căderii de tensiune în coloana de arc intervine, prin coeficientul *A*, *căderea de tensiune care apare în imediata vecinătate a electrozilor.* Pentru rețelele de joasă tensiune, aceasta din urmă are *valori importante, puțin influențate de valoarea curentului.*

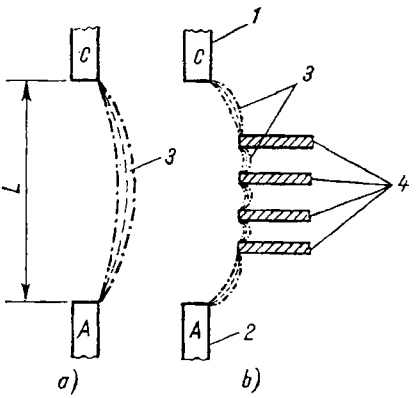


Fig. 15.3. Principiul stingerii arcului electric prin divizare în grătar deionic: *1* și *2* — contacte de întrerupere; *3* — arc electric; *4* — plăci de fier.

Dacă arcul electric nu este lăsat să se dezvolte liber (fig. 15.3) pe toată distanța dintre contacte, ci este obligat să intre în zona unor plăcuțe metalice izolate (fig. 15.3, *b*), acestea îl răcesc puternic și îl divizează într-un număr de arcuri elementare, *multiplicînd în aceeași măsură și numărul de căderi de tensiune catodice.*

○ **Notă.** Dacă plăcuțele metalice se execută din oțel, apare efectul de suflaj magnetic pentru fiecare din arcurile elementare, ceea ce favorizează și mai mult stingerea arcului.

B. STINGEREA ARCULUI ÎN CURENT ALTERNATIV

1. ARCUL ELECTRIC DE CURENT ALTERNATIV

Arcul electric de curent alternativ se deosebește de cel de curent continuu prin următoarele aspecte:

— valoarea curentului care străbate circuitul se schimbă în fiecare moment, oscilînd între o valoare maximă pozitivă și o valoare maximă negativă;

— la fiecare semiperioadă curentul trece prin valoarea zero;

— la fiecare semiperioadă se schimbă polaritatea electrozilor.

Dintre acestea, cel mai important lucru este trecerea curentului prin zero la fiecare semiperioadă, ceea ce ușurează foarte mult stingerea arcului.

În figura 15.4 este reprezentată variația curentului și a tensiunii arcului de curent alternativ în cursul unei perioade. Din această figură rezultă următoarele:

— curentul începe să circule numai după ce tensiunea a atins o anumită va-

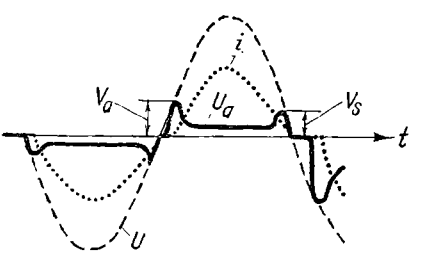


Fig. 15.4. Variația tensiunii arcului și a curentului alternativ, într-o perioadă: U — tensiunea sursei; U_a — căderea de tensiune în arc; V_a — tensiunea de amorsare a arcului (vîrf de amorsare); V_s — tensiunea de stingere a arcului (vîrf de stingere); i — curentul în circuit.

loare, deci după fiecare trecere a curentului prin zero există o scurtă perioadă în care arcul rămîne stins;

— căderea de tensiune în arc prezintă la începutul şi la sfîrşitul fiecărei semiperioade două vîrfuri, numite respectiv *vîrf de amorsare* (V_a) şi *vîrf de stingere* (V_s).

Aceste constatări se explică astfel:

— în timp ce curentul se apropie de valoarea zero, ionizarea canalului de arc este din ce în ce mai slabă, în timp ce deionizarea continuă să fie activă. Rezultă o creştere a căderii de tensiune în arc şi apariţia vîrfului de stingere;

— după trecerea curentului prin zero, polaritatea electrozilor se schimbă, condiţiile de ionizare sînt astfel schimbate şi este necesar un timp oarecare pînă cînd tensiunea atinge valoarea necesară reamorsării arcului;

— în perioada care se scurge de la trecerea curentului prin zero şi pînă la reaprinderea arcului, are loc o întrecere între acţiunea deionizantă a mediului, care tinde să sporească izolaţia spaţiului dintre electrozi, şi tendinţa tensiunii de a reaprinde arcul;

— după amorsare, se restabileşte ionizarea canalului de descărcare şi căderea de tensiune în arc U_a scade.

● **Stingerea arcului.** Pentru arcul de curent alternativ, căderile de tensiune în coloana de arc şi în faţa electrozilor au aceleaşi valori ca şi în curent continuu. Şi în acest caz sînt valabile relaţiile (15.1) ... (15.4), şi este posibil să se realizeze stingerea arcului în intervalul unei semiperioade, înainte de trecerea naturală a curentului prin zero. Dar, îndeosebi la tensiuni înalte, realizarea unei căderi de tensiune în arc, egală cu tensiunea sursei, presupune eforturi şi solicitări deosebit de mari ale aparatelor de stingere.

Trecerea curentului prin zero oferă însă posibilităţi mult mai uşoare de stingere a arcului; este suficient ca în momentul trecerii curentului prin zero să se deionizeze energic coloana de arc împiedicînd reamorsarea acestuia. În felul acesta, stingerea arcului se obţine cu o distanţă mult mai mică între electrozi şi cu o degajare mult mai mică de energie în spaţiul de descărcare.

○○○ **Atenţie!** Nu trebuie să se înţeleagă că, la întreruptoarele de curent alternativ *acţiunea* de stingere a arcului *va avea loc numai în momentul trecerii curentului prin zero*. Acest lucru nu este practic posibil datorită duratei foarte mici a intervalului de timp cît curentul este apropiat de valoarea zero.

În realitate, mediul de stingere acţionează asupra arcului electric în mod neîntrerupt, cîteva semiperioade, dar acţiunea sa este *astfel dozată* încît:

— în perioadele în care curentul electric are valori maxime, să nu provoace o cădere prea mare de tensiune în arc, evitîndu-se astfel o degajare prea mare de energie în coloana de arc;

— în perioadele în care curentul electric are valorile minime (trece prin zero), *să acţioneze suficient de energic pentru a evita reamorsarea arcului electric şi a provoca pe această cale stingerea sa.*

2. METODE DE STINGERE

Stingerea arcului în curent alternativ se realizează prin aceleaşi metode ca şi în curentul continuu, cu deosebirea că dimensionarea se face astfel încît *acţiunea acestora să fie mai ponderată*. Ca urmare, se pot folosi în curent continuu aparate de întrerupere construite pentru curent alternativ, dar la curenţi de rupere mai mici (posibilităţile exacte se stabilesc cu constructorul aparatului).

C. CAMERE DE STINGERE

Din cele arătate mai sus, a rezultat că pentru stingerea arcului electric este folosită, printre altele, și alungirea sa, folosind în acest scop suflajul magnetic.

În același timp însă:

— arcul electric atinge temperaturi de cîteva mii de grade, putînd deteriora grav piesele izolante sau metalice cu care vine în contact;

— arcul electric *este o parte a circuitului electric* și contactul său cu o piesă metalică pusă la masă echivalează cu punerea la masă a circuitului electric, iar contactul cu o piesă metalică făcînd parte din circuitul fazei vecine reprezintă nașterea unui *scurtcircuit.*

Apar astfel două condiții contradictorii:

— pe de o parte necesitatea de a lăsa arcul electric să se dezvolte pe o anumită lungime;

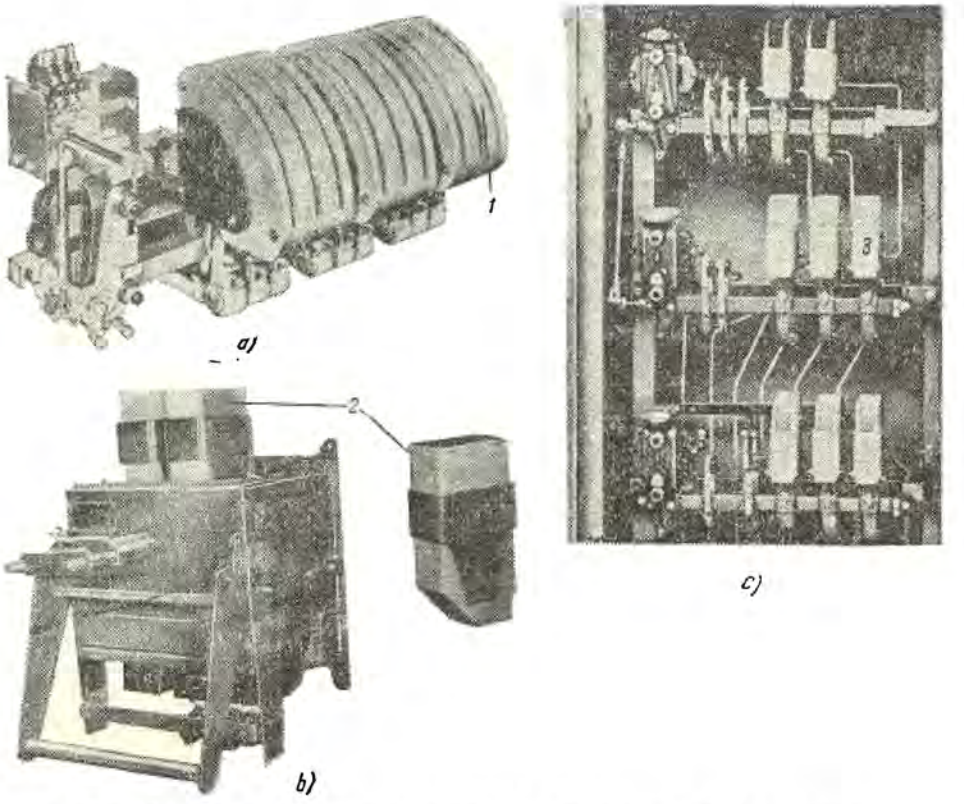


Fig. 15.5. Camere de stingere la aparate de întrerupere de joasă tensiune:

a — contactor trifazat în aer prevăzut cu camere din azbociment, cu mai multe canale înguste longitudinale *(1)*; *b* — întreruptor trifazat de curenți mari prevăzut cu camere de stingere din plăci de azbest *(2)*; *c* — contactoare în aer cu camere de stingere din material ceramic *(3)*.

— pe de altă parte necesitatea de a izola zona în care se dezvoltă arcul electric de celelalte organe ale aparatului.

În același timp s-a văzut că, pentru a se realiza stingerea în bune condiții sînt necesare anumite „amenajări" în zona de desfășurare a arcului electric (pereți înguști, fante, grătare de deionizare).

Pentru satisfacerea tuturor acestor condiții se folosesc așa-numitele *„camere de stingere"*, care au următorul rol:

- să creeze o *incintă izolată electric* de restul aparatului, în care arcul să se poată dezvolta fără a periclita alte piese ale aparatului sau personalul de deservire;
- să creeze condiții favorabile de deionizare, răcire și stingere a arcului electric;
- să permită evacuarea ușoară a gazelor fierbinți din interiorul camerei dar numai după ce le-a răcit suficient (pentru a se evita ca gazele ionizate să faciliteze străpungeri de izolații în afara aparatului).

Camerele de stingere se execută întotdeauna din materiale electroizolante cu mare rezistență la temperaturi ridicate (termoceramit, azbociment, plăci de azbest).

Camerele de stingere din figura 15.5 se numesc camere „deschise", gazele fierbinți evacuate din camera de stingere avînd acces direct în exteriorul aparatului. Ele sînt folosite îndeosebi la aparate cu curenți nominali de ordinul a 25 ... 100 A.

Pentru intensități mai mari sau solicitări mai grele se folosesc de obice camere cu grătar de deionizare (fig. 15.6 și 15.7).

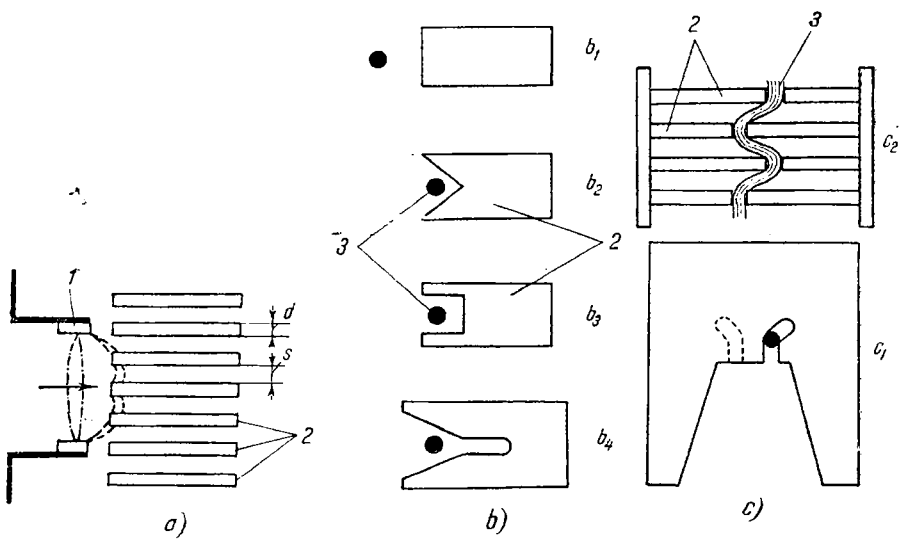


Fig. 15.6. Camere de stingere cu grătar de deionizare:

a — principiul de funcționare; *b* — diferite forme de plăcuțe; *c* — plăcuțe cu fantă îngustă asimetrică (c_1) și principiul lor de funcționare (c_2); *1* — contact mobil; *2* — plăcuțe de deionizare; *3* — arcul electric.

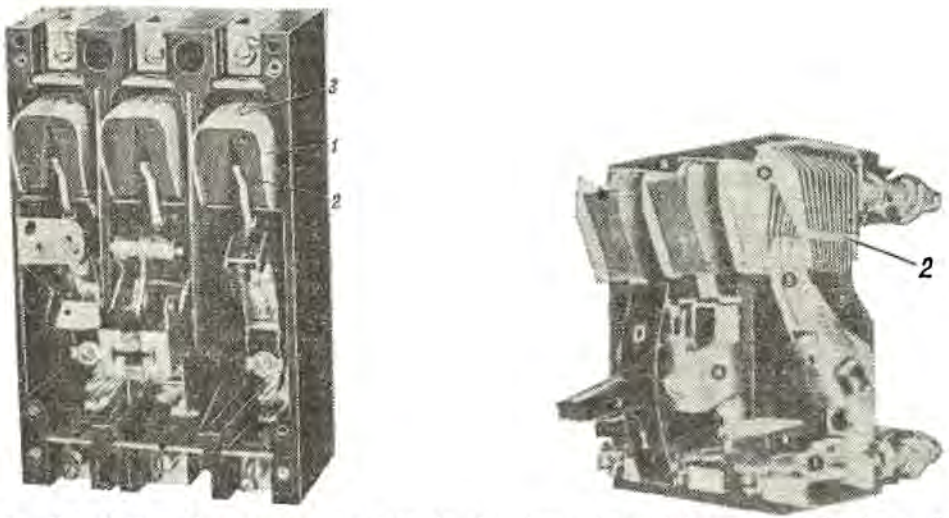


Fig. 15.7. Camere de stingere cu grătar de deionizare (exemplificare pe două tipuri de întreruptoare automate):
1 — cameră de stingere; *2* — plăcuțe de deionizare; *3* — orificii pentru evacuarea gazelor fierbinți.

Plăcuțele de deionizare pot avea diverse forme, dependente și de forma contactelor de rupere ale aparatului în vecinătatea imediată a cărora sînt montate.

Materialul din care sînt confecționate plăcuțele este întotdeauna fierul, protejat împotriva coroziunilor prin zincare, nichelare sau cadmiere.

Grosimea plăcuțelor este de 0,5 ... 2,5 mm, iar distanța dintre ele, de 2 ... 5 mm.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt factorii care influențează mărimea căderii de tensiune în arcul electric și de ce depind aceștia?
2 — Care sînt căile prin care putem obține o mărire a căderii de tensiune în arcul electric de joasă tensiune?
3 — Care este rolul plăcuțelor de deionizare?

Capitolul 16
APARATE DE CONECTARE MANUALĂ

● A. ÎNTRERUPTOARE-PÎRGHIE ● B. ÎNTRERUPTOARE ŞI COMUTATOARE-PACHET ● C. ÎNTRERUPTOARE ŞI COMUTATOARE CU CAME ● D. PRIZE ŞI FIŞE INDUSTRIALE

În această categorie sînt cuprinse următoarele grupe de aparate:
— *întreruptoare-pîrghie;*
— *întreruptoare şi comutatoare-pachet;*
— *întreruptoare şi comutatoare cu came;*
— *separatoare;*
— *prize şi fişe industriale.*

Ele au următoarele caracteristici comune:
— sînt *acţionate manual,* atît la închidere, cît şi la deschidere;
— *servesc la stabilirea şi întreruperea circuitului,* nefiind prevăzute cu alte elemente de protecţie, măsurare sau reglare;
— *nu pot întrerupe decît curenţii de serviciu mai mici sau cel mult egali cu curentul nominal;* nu au rolul şi nu pot să întrerupă curenţii mari de suprasarcină sau de scurtcircuit;
— sînt destinate să fie *manevrate relativ rar,* durata de serviciu fiind de cîteva mii pînă la cîteva zeci de mii de cicluri, iar frecvenţa de conectare fiind de ordinul a cîtorva manevre pe oră.

A. ÎNTRERUPTOARE-PÎRGHIE

Întreruptoarele-pîrghie sînt *aparate de joasă tensiune caracterizate prin faptul că închiderea şi deschiderea circuitului se realizează cu ajutorul unui contact mobil în formă de braţ de pîrghie.*

Ele servesc pentru conectarea la reţea şi întreruperea manuală a circuitelor de lumină şi forţă de joasă tensiune, atît în curent continuu, cît şi în curent alternativ, la consumatori de importanţă redusă.

1. CONSTRUCŢIE

Elementele componente ale unui întreruptor-pîrghie sînt (fig. 16.1):
— *placa de bază* din material izolant: bachelită presată sau pertinax, la tipurile de curenţi nominali pînă la 200 A, sau metalică — la curenţi nominali mai mari;

— *contactele fixe*, realizate de obicei din tablă de alamă;
— *contactul mobil* (cuțitul de contact), realizat din bară laminată de alamă;
— *bornele de legătură la circuit*, realizate de asemenea din alamă;
— *tija de acționare*, din lemn, bachelită sau alt material izolant, cu suficientă rezistență mecanică;
— un *capac de protecție*, din bachelită, carton presat sau alt izolant, de preferință rezistent la acțiunea arcului electric.

La întreruptoarele-pîrghie de construcție modernă și îndeosebi la cele destinate să funcționeze în circuite de curent continuu, pentru a se mări puterea de rupere se mărește viteza de deschidere a contactelor, fie adăugîndu-se cuțitelor de *contact auxiliar de rupere* legat prin arc de cuțitul principal de contact (fig. 16.1), fie realizîndu-se legătura dintre pîrghia de acționare și contactele mobile prin intermediul unor *arcuri* (fig. 16.2).

2. TIPURI CONSTRUCTIVE

Tipurile constructive de întreruptoare-pîrghie se pot clasifica după mai multe criterii.

• **După numărul căilor de curent** acționate de același mîner, se deosebesc:
— *întreruptoare monopolore*, folosite îndeosebi în circuite de putere mică (de semnalizare, de siguranță etc.);
— *întreruptoare bipolare*, folosite îndeosebi la circuitele de curent continuu sau la circuitele monofazate de curent alternativ (circuite de lumină);
— *întreruptoare tripolare*, folosite în rețelele trifazate de curent alternativ, îndeosebi pentru comanda manuală a motoarelor electrice.

• **După modul de întrerupere** se deosebesc:
— *întreruptoare cu cuțit de întrerupere bruscă;*
— *întreruptoare fără cuțit de întrerupere bruscă.*

• **După modul de acționare** se deosebesc:
— *întreruptoare cu manetă de acționare directă* (plasată central sau lateral);

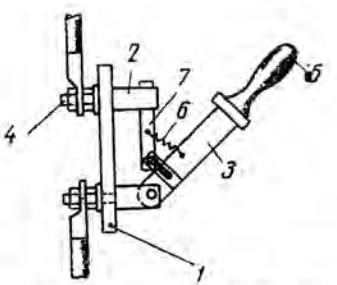


Fig 16.1 Întreruptor-pîrghie monopolar, prevăzut cu contact auxiliar cu mișcare bruscă (capacul de protecție a fost îndepărtat):
1 — placă de bază; *2* — contact fix; *3* — contact mobil; *4* — borne de legare la rețea; *5* — mîner de acționare; *6* — resort; *7* — contact de rupere.

Fig. 16.2. Întreruptor-pîrghie tripolar de 60 A, cu placă de bachelită, cu întrerupere bruscă prin resort.

— *întreruptoare cu acționare printr-un sistem de pîrghii* (această soluție este folosită îndeosebi la intensități mai mari și acolo unde întreruptorul-pîrghie este montat în spatele tabloului) (fig.16.3).

3. MODUL DE FUNCȚIONARE

Întreruptoarele-pîrghie realizează întreruperea curentului și stingerea arcului electric de întrerupere prin efectul de *suflaj magnetic în aer liber* (fig. 16.4). Lungimea și răcirea arcului se obțin prin efectul de buclă al circuitului de curent în întreruptor, dar sînt ajutate, în mare măsură, și de ridicarea în sus a aerului cald. De aceea, întreruptoarele-pîrghie se montează de obicei pe pereți verticali, cu contactele de deschidere în sus, așa cum este arătat în figura 16.4.

Din punctul de vedere al rolului lor și al modului de funcționare, ele se caracterizează prin următoarele:

— sînt construite ca *aparate de interior*, iar atunci cînd se folosesc în exterior (îndeosebi pe șantiere), trebuie să se ia măsuri de închidere cu capace de protecție;

— *frecvența de conectare este mică* (1 ... 3 conectări pe zi), iar puterea de rupere este redusă (de ordinul a 0,6 I_n);

— *acționarea* este întotdeauna *manuală*.

4. MĂRIMI CARACTERISTICE

Se construiesc pentru tensiunea nominală de 500 V și curenții nominali cuprinși între 25 și 1 000 A, întreaga gamă fabricîndu-se în prezent de către industria noastră electrotehnică.

Întreruptoarele-pîrghie pot întrerupe curentul lor nominal, în circuitele de curent alternativ neinductive (circuite de iluminat), la tensiunea de 220 și 380 V. La tensiunea de 500 V sau la tensiunea de 220 și 380 V, în circuite inductive sau în curent continuu, curentul de rupere este de numai (0,4 ... 0,5) I_n.

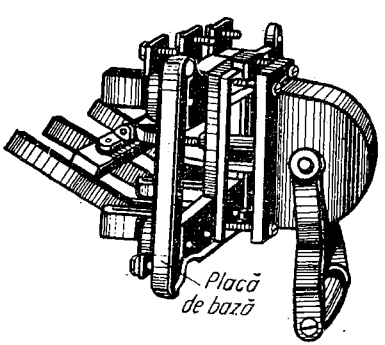


Fig. 16.3. Întreruptor-pîrghie tripolar de 200 A, montat în spatele tabloului și acționat din fața tabloului prin manetă și sistem de pîrghii.

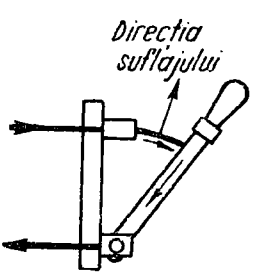


Fig. 16.4. Montarea corectă (în poziție verticală) a întreruptoarelor pîrghie.

Practic însă, numai aparatele pentru curenți nominali pînă la 60 ... 100 A sînt folosite efectiv ca aparat de întrerupere, cele de intensități mai mari avînd numai rolul de deschidere a circuitelor fără sarcină.

La intensități nominale pînă la 15 A inclusiv, întreruptoarele cu came (vezi capitolul C) oferă soluții mai sigure și mai compacte.

B. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE-PACHET

Întreruptoarele și comutatoarele-pachet sînt *aparate de conectare de joasă tensiune acționate manual, caracterizate prin faptul că ansamblul aparatului se obține prin înșiruirea pe același ax a unui număr variabil de elemente* (pachet) *de construcție similară* (nu neapărat identice), *fiecare element cuprinzînd o cale de curent.*

1. CONSTRUCȚIE

Fiecare cale de curent este formată din două sau trei *contacte fixe*, montate pe *discuri* presate din material electroizolant.

Contactele mobile, din material bun conducător elastic (tombac), cîte unul pentru fiecare sector, sînt așezate pe un *ax* central și se mișcă solidar cu axul.

Se deosebesc trei tipuri de contacte mobile, primul (fig. 16.5, *a*) fiind folosit la întreruptoare, iar celelalte (fig. 16.5, *b* și *c*) — la comutatoare-pachet.

2. TIPURI CONSTRUCTIVE

În funcție de condițiile existente la locul de utilizare, întreruptoarele și comutatoarele-pachet se pot executa după sistemul de protecție utilizat în diferite variante constructive (fig. 16.6):

— *execuție deschisă pentru montaj îngropat* în aparate sau tablouri de comandă (fig. 16.6, *b*);

— *execuție protejată în carcasă de bachelită* pentru montaj aparent (fig. 16.6, *c*);

— *execuție capsulată în carcasă metalică* turnată în silumin sau fontă, acolo unde aparatul poate fi supus unor solicitări mecanice grele (fig. 16.6, *d*).

3. MODUL DE FUNCȚIONARE ȘI DOMENIILE DE UTILIZARE

Maneta de acționare este montată liber pe ax, nefiind solidară cu acesta; legătura dintre maneta de acționare și ax (pe care sînt montate rigid contactele mobile) se realizează prin intermediul dispozitivului de sacadare. Numai după ce maneta s-a rotit cu un anumit unghi, întinzînd în acest timp un resort al dispozitivului de sacadare, se eliberează axul cu contactele mobile, acestea sărind brusc dintr-o poziție în cealaltă. În felul acesta, aparatul realizează o întrerupere bruscă, cu două locuri de întrerupere, într-o cameră închisă și îngustă formată din două discuri izolante. Toate aceste condiții favorizează întreruperea arcului

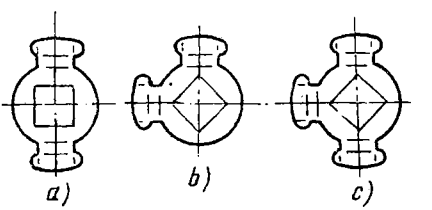


Fig. 16.5. Tipuri de contacte mobile pentru întreruptoare și comutatoare-pachet: *a* — contacte în opoziție; *b* — contacte în unghi; *c* — contacte în T.

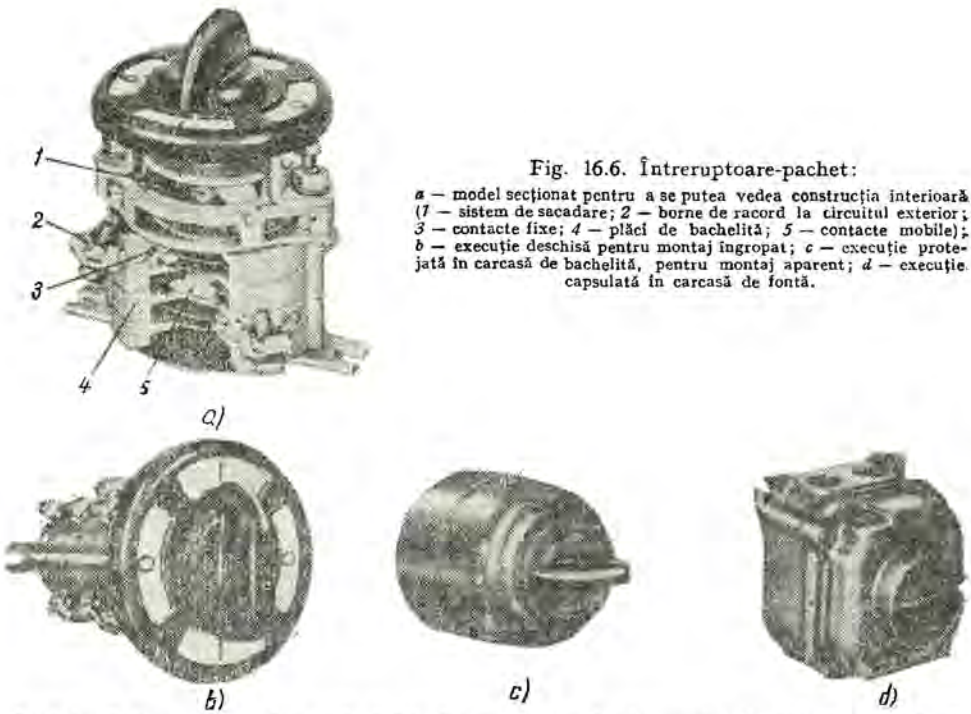


Fig. 16.6. Întreruptoare-pachet:
a — model secționat pentru a se putea vedea construcția interioară (*1* — sistem de sacadare; *2* — borne de racord la circuitul exterior; *3* — contacte fixe; *4* — plăci de bachelită; *5* — contacte mobile); *b* — execuție deschisă pentru montaj îngropat; *c* — execuție protejată în carcasă de bachelită, pentru montaj aparent; *d* — execuție capsulată în carcasă de fontă.

electric, întreruptoarele-pachet fiind caracterizate tocmai prin faptul că, față de gabaritul lor redus, pot întrerupe curenții relativ mari.

Alegînd diferite forme de contacte mobile (fig. 16.5), plasînd în mod convenabil contactele fixe și executînd în mod diferit legăturile exterioare între contactele fixe, *se pot obține scheme de comutare foarte variate*, cu ajutorul unui aparat simplu și de gabarit redus.

Întreruptoarele-pachet pot funcționa în orice poziție, sînt foarte rezistente la vibrații și șocuri și pot fi introduse ușor în carcase de protecție (contra prafului, contra pătrunderii apei, antigrizutoase etc.), ceea ce le face foarte indicate pentru utilizări industriale. Ele sînt folosite la comanda circuitelor electrice la mașini-unelte, ca întreruptoare și comutatoare pe panouri și pupitre de comandă și ca întreruptoare capsulate.

4. MĂRIMI CARACTERISTICE

Întreruptoarele-pachet se caracterizează prin:

— *tensiunea nominală;*

— *felul curentului*, continuu sau alternativ (nu se construiesc întreruptoare diferite pentru curent continuu sau alternativ, dar întreruperea curentului continuu este mai grea; de aceea, același întreruptor corespunde unei tensiuni și unui curent mai mic, dacă circuitul este de curent continuu);

— *intensitatea nominală;*

— *numărul căilor de curent;*

— *schema de legături;*

— *tipul de protecție* (construcție deschisă sau în carcasă de bachelită, fontă etc.).

Întreruptoarele și comutatoarele-pachet se construiesc pentru tensiuni nominale pînă la 500 V curent alternativ și 440 V curent continuu, dar domeniul normal de utilizare este 380 V sau 250 V. Curenții nominali sînt cuprinși între 6 și 200 A. Frecvența de conectare este de cel mult 250 de conectări pe oră *, iar durata de viață este de ordinul a 100 000 manevre la intensități nominale mici (16 A) și 10 000—20 000 manevre la intensități nominale mari (200 A).

La tensiuni de 380 V sau 250 V, curentul de rupere este egal cu curentul nominal în circuite neinductive și de 0,75 I_n în circuite inductive cu cos $\varphi \geqslant 0{,}4$. La tensiuni de serviciu pînă la 500 V sau 440 V, puterile de rupere sînt de circa 70% din valorile indicate mai înainte, adică respectiv 0,85 I_n și 0,50 I_n.

Nu este recomandată utilizarea acestor aparate în circuite puternic inductive (cos $\varphi < 0{,}4$).

5. SCHEME ELECTRICE CU ÎNTRERUPTOARE-PACHET

După cum s-a arătat, o mare calitate a întreruptoarelor-pachet este aceea că prin folosirea lor se pot realiza, cu mare ușurință, scheme de corectare foarte variate. Pentru exemplificare, figura 16.7 reprezintă o schemă de legături cu ajutorul căreia se poate conecta după voie, cu ajutorul unui singur comutator-pachet, sursa S la oricare dintre consumatorii L, M sau N.

6. CONDIȚII DE MONTARE ȘI ÎNTREȚINERE

● Întreruptoarele-pachet sînt aparate robuste, care funcționează bine chiar în condiții grele de exploatare, dar, la **alegerea** și **montarea** lor, trebuie avute în vedere următoarele reguli:

• în general, întreruptoarele-pachet *sînt destinate să funcționeze în interiorul încăperilor*, în spații lipsite de praf, umezeală sau agenți chimici corosivi;

• dacă întreruptorul este de construcție deschisă (cazul cel mai frecvent), el *se va monta în spatele tablourilor sau în nișele mașinilor-unelte*, astfel încît numai maneta de comandă să fie accesibilă;

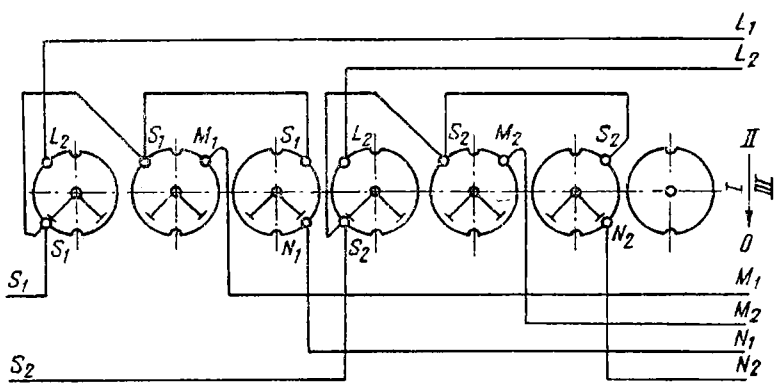


Fig. 16.7. Schema de conexiuni a unui comutator-pachet cu trei direcții.

* Este recomandabil însă să nu se depășească 10—20 conectări/oră, deoarece peste aceste valori puterea de rupere și durata de viață scad simțitor.

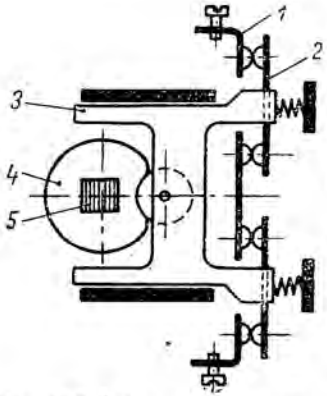


Fig. 16.8. Întreruptor cu came. Reprezentarea schematică a principiului de funcționare: *1* – contact fix; *2* – punți de contact mobile; *3* – sanie pe care sînt fixate contactele mobile; *4* – camă de comandă; *5* – ax de comandă.

• întreruptoarele-pachet *nu pot funcționa corect în circuite puternic inductive sau necesitînd frecvență mare de conectare.*

• **Întreținerea** întreruptoarelor-pachet constă în:

• *curățirea periodică de praf* prin suflare cu aer comprimat;

• *verificarea stării contactelor* și *ungerea* ușoară a acestora cu vaselină neutră;

• *verificarea uzurii mecanismului de sacadare și ungerea cu vaselină neutră a pieselor de uzură;*

• *verificarea rezistenței de izolație.*

C. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE CU CAME

Din punct de vedere constructiv, întreruptoarele și comutatoarele cu came se aseamănă mult cu întreruptoarele-pachet, fiind alcătuite tot dintr-un număr variabil de căi de curent identice, alăturate; deschiderea și închiderea contactelor mobile este, de asemenea, realizată prin acționarea unui ax central comun.

Deosebirea dintre întreruptoarele-pachet și întreruptoarele cu came *o constituie modul de realizare a circuitului de curent:*

— *la întreruptoarele-pachet,* contactele mobile se rotesc odată cu axul de acționare, în timp ce contactele fixe sînt așezate pe un cerc periferic; închiderea și deschiderea circuitului se realizează între contacte cu frecare de tip furcă;

— *la întreruptoarele cu came,* contactele mobile execută mișcări de translație, închiderea și deschiderea circuitelor realizîndu-se cu ajutorul unor contacte de presiune punctiforme, fără frecare (fig. 16.8).

Similar întreruptoarelor-pachet, întreruptoarele cu came se construiesc pentru curenții nominali de 6 ... 200 A și tensiuni nominale de 250 V, 380 V și

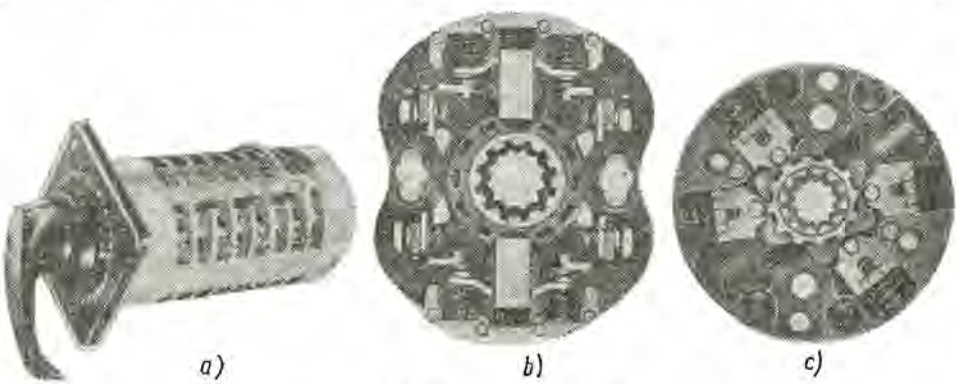


Fig. 16.9. Întreruptor cu came:
a – vedere generală; *b* – sistemul de contacte; *c* – sistemul de sacadare.

500 V, dar, spre deosebire de primele, întreruptoarele cu came au performanțe superioare în ceea ce privește:

— puterea de rupere;

— frecvența de conectare (maximum 300 conectări/oră, dar normal 20 ... 40 conectări/oră);

— durata de serviciu (0,5 ... 1 milion de manevre).

În figura 16.9 este reprezentat un tip de întreruptor cu came și construcția sa interioară, iar în figura 16.10, cîteva tipuri constructive din producția întreprinderii „Electroaparataj".

Cu ajutorul comutatoarelor cu came se poate realiza, de asemenea, o varietate deosebit de mare de scheme (fig. 16.11).

Fig. 16.10. Diferite variante de comutatoare cu came, din producția întreprinderii „Electroaparataj".

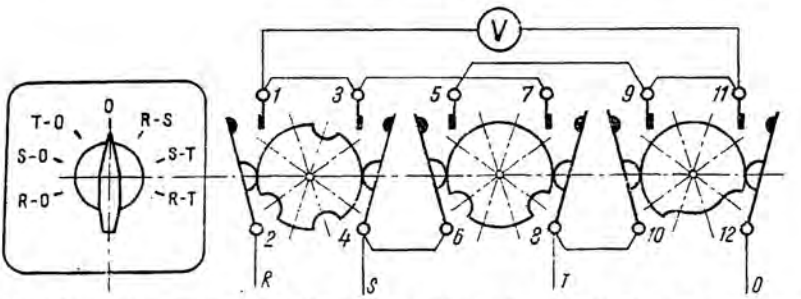


Fig. 16.11. Schema de conexiuni a unui comutator voltmetric realizată ca un comutator cu came.

Condițiile de montare și întreținere sînt similare cu cele ale întreruptoarelor-pachet, cu următoarea deosebire:

— contactele de lucru ale întreruptoarelor-pachet sînt contacte de frecare, din aliaje de cupru; eventualele perlări sau oxidări se pot îndepărta prin pilire ușoară sau, mai bine, prin frecare cu hîrtie abrazivă;

— contactele de lucru ale întreruptoarelor cu came sînt nituri de argint care nu se pilesc și nu se curăță cu pînze abrazive, ci numai cu o pensulă sau cu o cîrpă aspră muiată în benzină.

D. PRIZE ȘI FIȘE INDUSTRIALE

1. CONSTRUCȚIE

Pentru conectarea la rețeaua electrică de joasă tensiune a anumitor consumatori mobili, cum sînt: grupuri de sudură, mașini de găurit sau lustruit electrice, ferăstraie electrice și alți consumatori similari din industrie și agricultură, se utilizează prize și fișe industriale. Acestea sînt formate din două piese (fig. 16.12): *priza*, reprezentînd partea fixă, legată de rețea; *fișa*, reprezentînd partea mobilă, la care este legată conducta flexibilă de alimentare a consumatorului mobil.

● **Priza** este formată la rîndul ei din următoarele elemente:

— *căile conductoare de curent*, cu tecile de contact de alamă, prevăzute cu o piesă de arcuire; piesele de contact se protejează de obicei prin nichelare, împotriva coroziunilor;

— *o piesă izolantă* din porțelan, care asigură izolarea și fixarea mecanică a căilor de curent;

— *o carcasă protectoare* din material plastic rezistentă la lovituri (poliamidă, poliester armat cu fibre de sticlă, cauciuc), din fontă sau din aliaj de aluminiu turnat, prevăzută cu șurub de legare la pămînt și cu capac cu arc, care acoperă piesele sub tensiune atunci cînd fișa este scoasă (fig. 16.13, *d*).

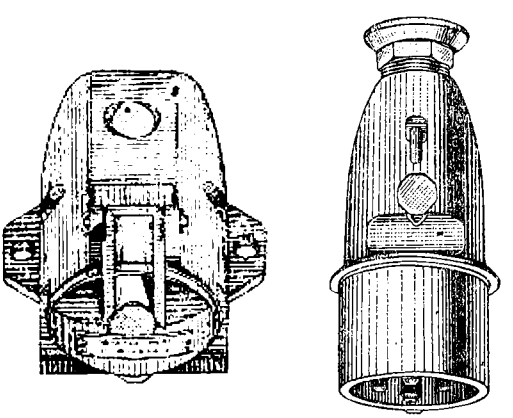


Fig. 16.12. Priză și fișă (3 + 1 contacte) avînd corpul din material plastic.

● **Fișa** este de construcție asemănătoare, avînd:

— *căi conductoare de curent* cu știfturi de contact din alamă;

— *o piesă izolantă* din porțelan;

— *o carcasă protectoare* din material plastic, fontă sau din aliaj de aluminiu, prevăzută cu brățară pentru fixarea rigidă a conductorului mobil, astfel încît solicitările la tracțiune exercitate asupra acestuia să nu slăbească legăturile la contacte.

În mod normal, prizele și fișele industriale sînt trifazate, dar au patru sau cinci căi conductoare, cea de-a patra servind pentru legarea firului neutru al cordonului, prin priză, la

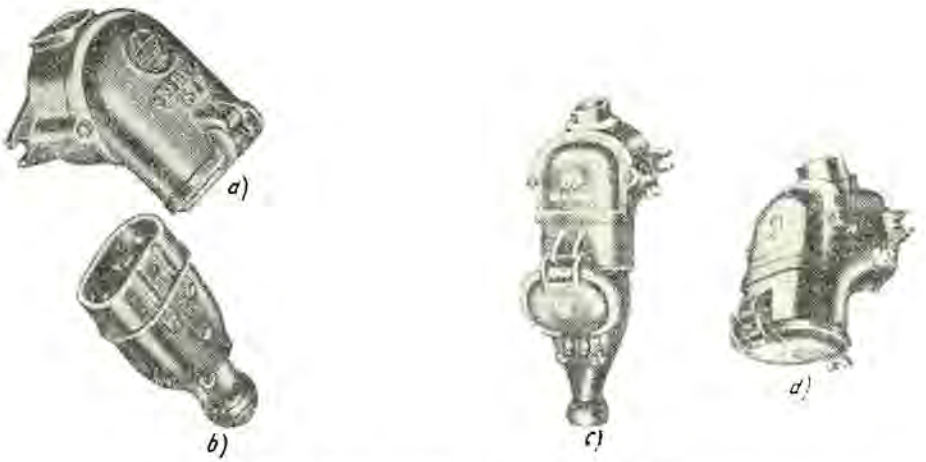


Fig. 16.13. Prize și fișe industriale din fontă:
a — priză de 25 A; *b* — fișă de 25 A; *c* — priză și fișă de 60 A cuplate; *d* — aceeași priză cu capacul închis.

masă, iar cea de-a cincea — pentru racordul la conductorul de nul. Știftul de contact corespunzînd firului neutru este mai lung, astfel încît să stabilească primul contactul, și este astfel plasat, încît să nu fie posibilă introducerea fișei decît în poziția corectă.

2. MĂRIMI CARACTERISTICE

Prizele și fișele industriale se construiesc în mod normal pentru tensiunile nominale de 380 V sau 500 V și pentru curenții nominali de 15, 25, 60 și 125 A.

Trebuie reținut faptul că prizele și fișele sînt numai aparate de conectare și *nu au putere de rupere.*

○○○ **Este interzis** să se întrerupă curentul prin scoaterea fișei. Pentru întreruperea curentului este necesar să se monteze în circuit un aparat de întrerupere corespunzător.

○○○ **Important.** *Prizele și fișele industriale se construiesc strict pentru tensiunea nominală pentru care sînt destinate.* Ele sînt în mod intenționat astfel făcute, încît să fie imposibilă racordarea unui consumator la o tensiune superioară celei nominale a consumatorului.

Capitolul 17

APARATE DE COMANDĂ MANUALĂ A MAŞINILOR ELECTRICE ROTATIVE

● A. APARATE DE CONECTARE MANUALĂ LA REŢEA A MAŞINILOR ELECTRICE ● B. COMUTATOARE STEA-TRIUNGHI MANUALE ● C. AUTOTRANSFORMATOARE DE PORNIRE ● D. INVERSOARE DE SENS DE MERS MANUALE ● E. COMUTATOARE DE NUMĂR DE POLI ● F. REOSTATE DE PORNIRE ŞI REGLARE PENTRU MOTOARELE ELECTRICE ● G. REOSTATE DE EXCITAŢIE PENTRU GENERATOARE

În acest capitol se tratează numai aparatele de comandă manuală a maşinilor electrice. Acestea sînt:

- *aparatele de conectare la reţea a maşinilor electrice;*
- *comutatoarele stea-triunghi;*
- *autotransformatoarele de pornire;*
- *inversoarele de sens;*
- *comutatoarele de număr de poli;*
- *reostatele de pornire şi reglare pentru motoarele electrice;*
- *reostatele de excitaţie ale generatoarelor.*

A. APARATE DE CONECTARE LA REŢEA A MAŞINILOR ELECTRICE

Conectarea la reţea şi deconectarea de la reţea a statorului motoarelor electrice asincrone se poate realiza cu diferite tipuri de aparate de conectare, şi anume cu: *întreruptoare-pîrghie; întreruptoare-pachet; întreruptoare cu came; întreruptoare cu tambur.*

Pentru motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit, punerea sub tensiune a înfăşurării statorice determină şi pornirea motorului; de aceea, pentru aceste motoare, aparatele de conectare de mai înainte servesc drept aparate de pornire manuală. Întreruptoarele-pîrghie, întreruptoarele-pachet şi întreruptoarele cu came au fost analizate în capitolul precedent.

● **Întreruptoarele cu tambur** *servesc exclusiv pentru comanda motoarelor electrice*, spre deosebire de celelalte tipuri de aparate de conectare manuală, care au şi diferite alte utilizări (iluminat, conectare de aparate electrocalorice, realizarea diferitelor scheme de comandă etc.). Sînt formate din trei perechi de degete de contact, aşezate de o parte şi de alta a unui tambur (cilindru), cu contacte din tablă de alamă sau din alamă turnată, antrenate de un ax

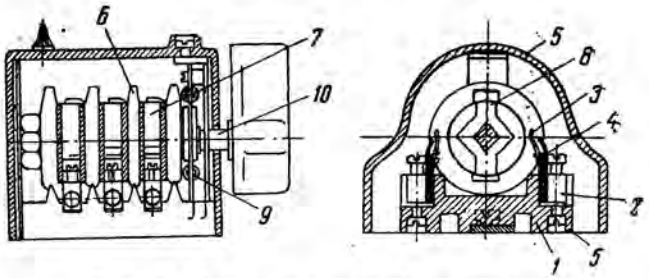


Fig. 17.1. Întreruptor manual cu tambur:
1 — placă de bază din material izolant (bachelită); *2* — bornă; *3* — deget de contact (contactul fix); *4* — element arcuitor; *5* — carcasă; *6* — perete izolant; *7* — suport izolant al contactelor mobile; *8* — contact mobil; *9* — dispozitiv de sacadare; *10* — ax de acționare.

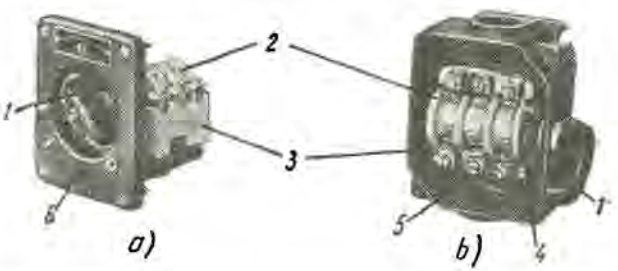


Fig. 17.2. Întreruptoare manuale cu tambur:
a — construcție încastrată; *b* — construcție în carcasă metalică; *1* — manetă de acționare; *2* — tambur cu contactele mobile; *3* — placă de bază din textit, susținînd contactele fixe; *4* — mecanism de sacadare; *5* — carcasă de protecție; *6* — placă frontală.

central (fig. 17.1). Prin legarea corespunzătoare a contactelor de pe tambur, aparatul poate servi drept:

— comutator-întreruptor;
— comutator stea-triunghi;
— inversor de sens de rotație.

Întreruptoarele cu tambur pot fi montate fie în batiul unei mașini-unelte, fie într-un tablou de comandă, folosindu-se atunci construcția „încastrată" (fig. 17.2, *a*), fie în carcase de protecție proprii (fig. 17.2, *b*).

Constructiv, întreruptorul cu tambur reprezintă o soluție mai veche. El își păstrează importanța ca aparat de comandă manuală a motoarelor pentru intensități mari de curent (60 ... 100 A), îndeosebi acolo unde se impune întreruperea sub ulei și unde întreruptoarele-pîrghie nu pot fi folosite. La intensități pînă la 25 A, întreruptoarele-pachet și cele cu came reprezintă soluții mai bune, atît în ceea ce privește puterea de rupere, cît și robustețea și spațiul ocupat.

B. COMUTATOARE STEA-TRIUNGHI MANUALE

Aceste comutatoare *servesc pentru comanda pornirii și opririi motoarelor electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit și au rolul de a reduce valoarea curentului absorbit de motor în timpul pornirii.*

○○○ **Important.** Utilizarea comutatorului stea-triunghi:

— *este necesară* acolo unde rețeaua nu suportă curentul mare absorbit de motor la pornirea directă în triunghi (se produc căderi de tensiune care perturbează funcționarea corectă a altor consumatori);

— *este aplicabilă numai dacă* motorul este astfel bobinat încît să aibă, în regim de lucru, bobinajul statoric conectat în triunghi și cele șase capete ale înfășurării statorice scoase la o placă de borne.

● **Principiul de funcționare** constă în a realiza pornirea în două etape:

— mai întîi se aplică motorului, *conectat în stea*, tensiunea rețelei (tensiunea aplicată fiecărei faze este deci de 1,73 ori mai mică decît tensiunea rețelei);

— îndată ce motorul a atins turația nominală (nu mai devreme și nici mult mai tîrziu), se modifică legăturile motorului în triunghi, conectîndu-se concomitent la rețea.

În felul acesta, curentul de pornire absorbit de motor de la rețea este redus la 1/3 din valoarea pe care ar fi avut-o dacă se conecta direct în triunghi, dar și cuplul de pornire scade la 1/3. De aceea, pornirea prin comutatoare stea-triunghi poate fi folosită *numai dacă motorul pornește în gol sau sub sarcină redusă*.

● **Constructiv**, comutatoarele stea-triunghi manuale se realizează îndeosebi sub formă de comutatoare cu tambur (fig. 17.3 și 17.4), avînd nouă contacte fixe (șase pe o latură, pentru legarea bornelor corespunzătoare ale motorului, și trei pe celaltă latură, pentru cele trei faze ale rețelei). Rotorul poartă contactele mobile, din tablă de alamă sau din alamă turnată; prin rotirea axului se realizează cele trei conexiuni: zero-stea-triunghi (fig. 17.5).

● **Schema de conexiuni** a comutatorului este reprezentată în figura 17.5. Din această figură rezultă:

— *în poziția „zero"* nici un contact mobil nu se află în legătură cu contactele fixe; singure bornele *R*, *S* și *T*, de racord la rețea, se află sub tensiune;

— *în poziția „stea"*, prin intermediul contactelor mobile, se leagă bornele *R* cu *A*, *S* cu *B* și *T* cu *C*, iar bornele *X*, *Y* și *Z* se leagă între ele, realizînd steaua;

— *în poziția „triunghi"* se leagă bornele *R* cu *A* și *Z*, *S* cu *B* și *X*, *T* cu *C* și *Y*, realizîndu-se astfel conexiunea în triunghi a înfășurării motorului, concomitent cu conectarea acesteia la rețea.

Comutatorul nu poate fi manevrat decît în ordinea: zero-stea-triunghi, un dispozitiv de zăvorîre împiedicînd trecerea din triunghi în stea și din zero în triunghi (trecerea stea—zero este posibilă).

Se pot, de asemenea, realiza comutatoare stea-triunghi cu ajutorul unui întreruptor-pachet, al unui întreruptor cu came sau cu un comutator-pîrghie (fig. 17.6).

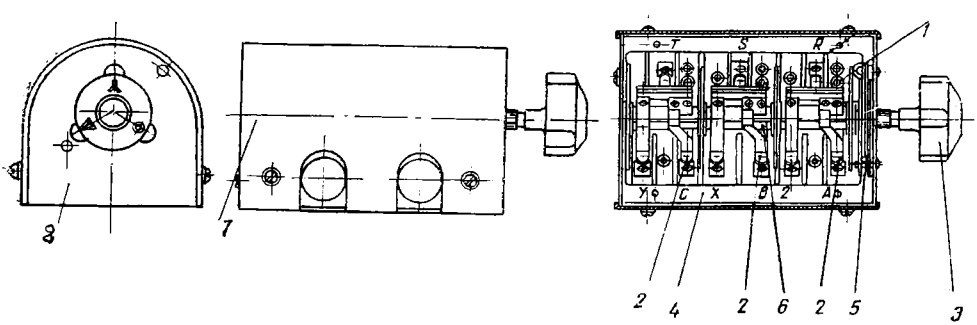


Fig. 17.3. Comutator stea-triunghi, elemente componente:

1 — contacte mobile; *2* — contacte fixe; *3* — manetă de acționare; *4* — placă de bază din bachelită; *5* — mecanism de sacadare; *6* — ax izolant; *7* — capac de tablă; *8* — perete lateral.

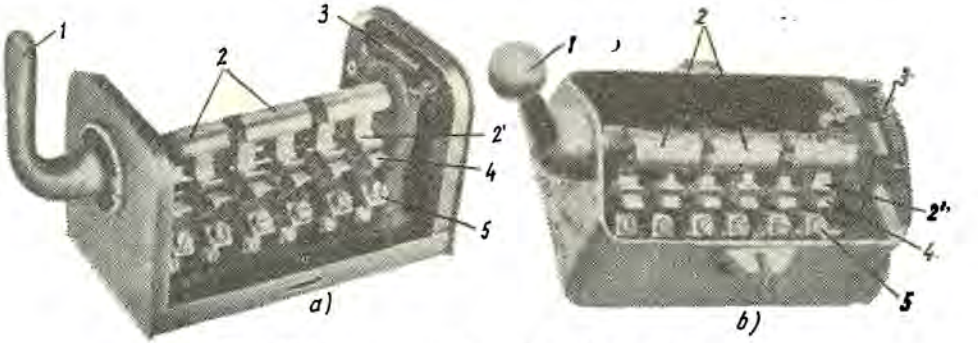


Fig. 17.4. Comutatoare stea-triunghi tip tambur:
a — cu carcasă de tablă; *b* — cu carcasă de fontă; *1* — manetă de acționare; *2* și *2'* — contacte mobile; *3* — mecanism de sacadare; *4* — contacte fixe; *5* — borne de racord la rețea.

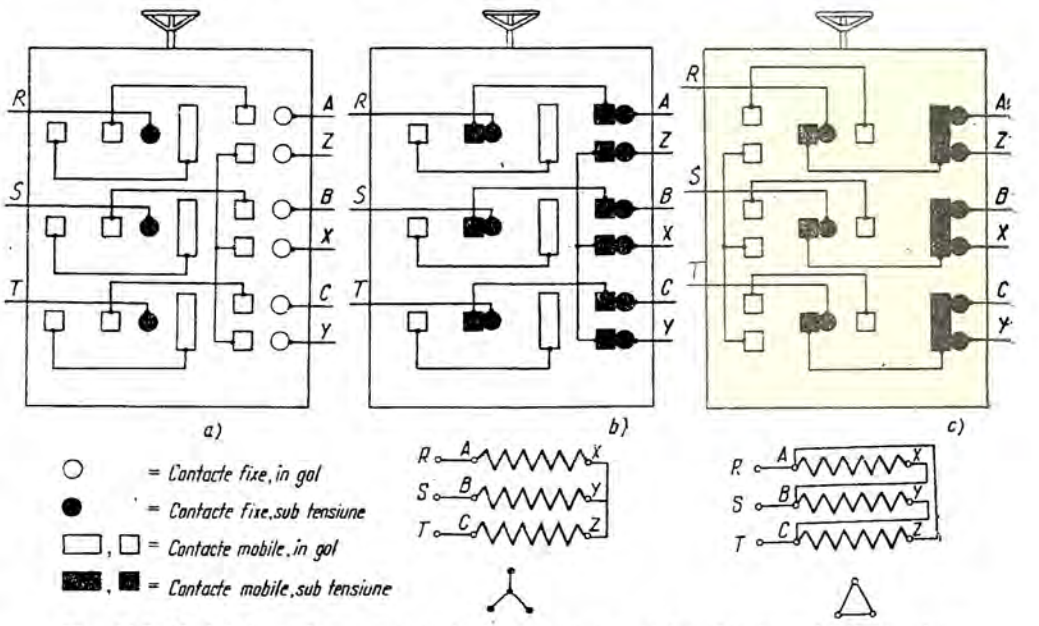
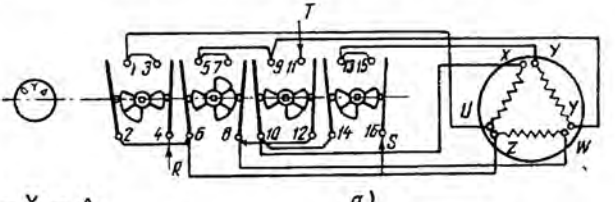
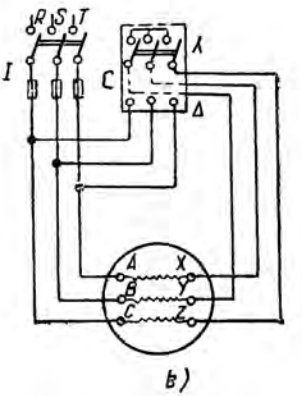


Fig. 17.5. Modul de realizare a conexiunilor la un comutator stea-triunghi tip tambur:
a — poziția „zero" (întrerupt); *b* — poziția „stea"; *c* — poziția „triunghi".

Fig. 17.6. Scheme de conexiuni ale unor comutatoare stea-triunghi:
a — schemă realizată cu ajutorul unui întreruptor cu came; *b* — schemă realizată cu ajutorul unui întreruptor (*I*) și al unui comutator-pîrghie (*C*).





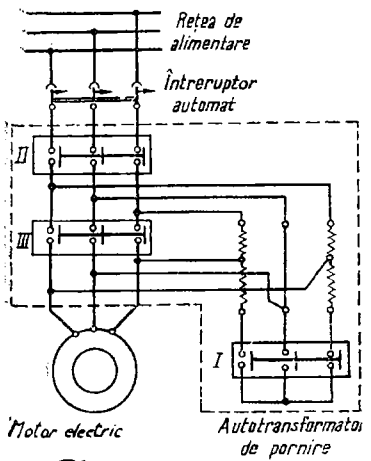


Fig. 17.7. Schema funcțională a unui autotransformator de pornire.

C. AUTOTRANSFORMATOARE DE PORNIRE

● Aparatul este alcătuit dintr-un autotransformator cu ploturi și un comutator cu cuțite sau tip controler, **modul de funcționare** fiind următorul (fig. 17.7):

— cu ajutorul comutatorului, montat de obicei împreună cu autotransformatorul într-o cuvă cu **ulei**, se pot realiza contactele *I*, *II* și *III*;

— înainte de pornire, în poziția „zero" a controlerului, toate cele trei contacte sînt deschise;

— pentru pornire se închid mai întîi contactele *I*, care pun în scurtcircuit capetele de nul ale înfășurărilor transformatorului (transformatorul este un transformator trifazat „în V", avînd deci numai două faze bobinate);

— în poziția următoare, se închid contactele *II*; motorul, fiind pus astfel sub tensiune redusă, pornește;

— în momentul în care motorul a atins turația de regim (curentul absorbit de la rețea nu mai scade), se trece pe poziția *III* a controlerului, această poziție corespunzînd funcționării de regim, cînd motorul primește de la rețea întreaga tensiune.

D. INVERSOARE DE SENS DE MERS MANUALE

Pentru inversarea sensului de rotire a motoarelor asincrone, *este suficient să se schimbe între ele două faze ale circuitului de alimentare*. Pe acest principiu se bazează comutatoarele care au funcția de a comanda inversarea sensului de rotire a motoarelor.

● **Constructiv,** inversoarele de sens se aseamănă foarte mult cu comutatoarele stea-triunghi, putînd fi realizate sub una din formele de comutator: *cu tambur, cu pîrghie, cu came* sau *pachet* (fig. 17.8).

E. COMUTATOARE DE NUMĂR DE POLI

Pentru motoarele asincrone există posibilitatea de a se modifica turația motorului în două—trei trepte fixe (nu în mod continuu) prin modificarea numărului de poli ai statorului, își anume executîndu-se statorul cu mai multe înfășurări, corespunzătoare fiecare unui anumit număr de poli, sau cu o înfășurare serie-paralel și executîndu-se în mod corespunzător legătura la rețea.

● **Construcția.** Comutatoarele cu ajutorul cărora se execută trecerea de la o conexiune statorică la cealaltă, adică schimbarea numărului de poli a înfășurării statorice, pot fi de tipul *pachet* sau *cu came* (fig. 17.9).

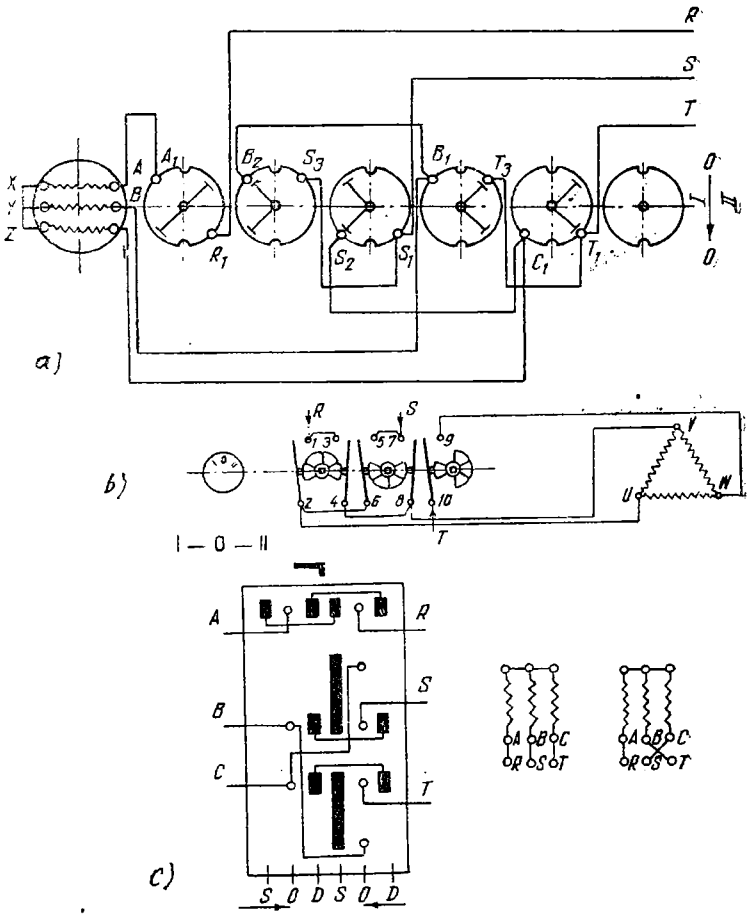


Fig. 17.8. Schemele de conexiuni ale unor inversoare de sens de mers, realizate în diferite soluţii constructive:

a — cu ajutorul unui comutator-pachet; *b* — cu ajutorul unui comutator cu came; *c* — cu ajutorul unui comutator cu tambur.

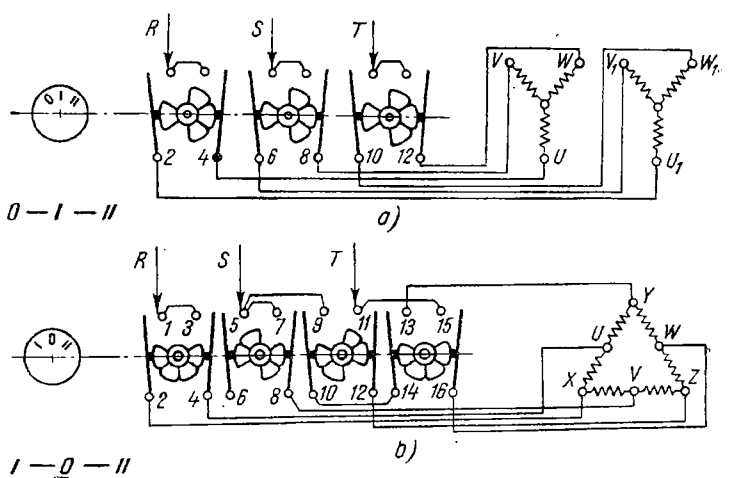


Fig. 17.9. Schemele de conexiuni ale unui comutator cu came, cu funcţie de comutator de număr de poli:

a — pentru motor cu două înfăşurări; *b* — pentru motor cu înfăşurări tip „Daklander".

F. REOSTATE DE PORNIRE ŞI REGLARE PENTRU MOTOARE ELECTRICE

Se numeşte *reostat de pornire* respectiv *reostat de pornire şi reglare* ansamblul format dintr-un controler şi o rezistenţă de pornire şi reglare.

Introducerea rezistenţelor în circuitul rotorului motorului asincron cu inele şi reglarea valorii acestora se realizează cu ajutorul reostatelor formate din: *controlere* şi *rezistenţe de pornire.*

1. CONTROLERE

Controlerele *sînt aparate de conectare care pot modifica într-o ordine dinainte stabilită, conexiunile unuia sau mai multor circuite, precum şi pentru inserarea în circuitul rotoric a rezistenţelor necesare pentru reglajul pornirii şi al turaţiei motoarelor electrice mari.*

Există trei tipuri de controlere: *cu tobă, cu came* şi controlere *de comandă indirectă.*

● **Controlerele cu tobă.** Pe un ax central *1*, rotativ şi izolat pe toată lungimea printr-un tub de micanită sau de pertinax *2*, sînt înşiruite contactele mobile de alamă *3*, fixate pe sectoare de fontă *4* (fig. 17.10). Pe alte bare izolate sînt înşiruite contactele fixe *5*, în formă de contacte-deget.

Prin rotirea, cu ajutorul manetei *6*, a axului care poartă contactele mobile, se stabilesc şi se întrerup circuitele în succesiunea dorită. Un sistem de sacadare *7* asigură oprirea manetei în poziţii corecte. Acolo unde sînt de întrerupt intensităţi mari, se folosesc şi camere de stingere cu dispozitive de suflaj magnetic.

În figurile 17.11 şi 17.12 sînt reprezentate două detalii funcţionale importante ale controlerelor cu tobă.

● **Controlerele cu came** se deosebesc de controlerele cu tobă, prin faptul că pe axul mobil sînt montate o serie de came din material izolant avînd diferite profile. Aceste came, executate din textolit, alunecă pe role metalice care acţionează contactele mobile prin intermediul unor pîrghii (fig. 17.13). Controlerele cu came prezintă o acţionare mai uşoară şi o putere de rupere

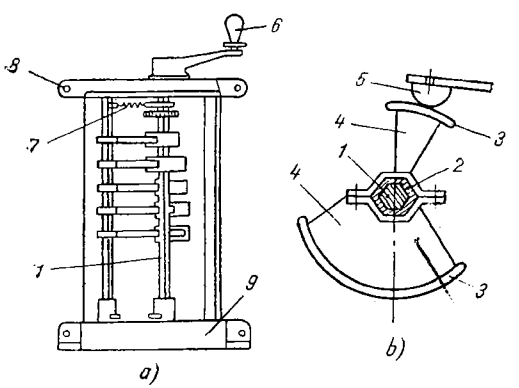


Fig. 17.10. Controler cu tobă:
a — ansamblu; *b* — sistemul de contacte; *1* — ax de acţionare a contactelor mobile; *2* — tub izolant; *3* — contacte mobile; *4* — elemente de fixare a contactelor mobile; *5* — contacte fixe; *6* — mîner de acţionare; *7* — sistem de sacadare; *8* — capac; *9* — placă de bază.

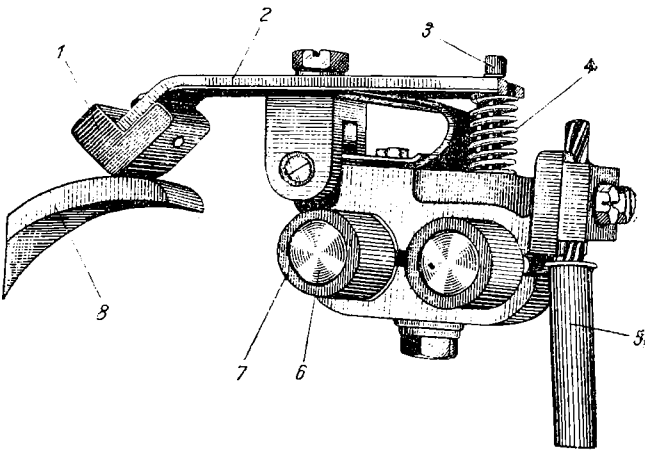


Fig. 17.11. Detaliu privind sistemul de contacte ale unui controler:

1 — deget de contact (contactul fix); *2* — suportul contactului fix; *3* — şurub de reglaj; *4* — resort de compresiune pentru asigurarea presiunii de contact; *5* — conductor de racord la circuitul exterior; *6* - tijă de susţinere (oţel); *7* — izolaţia tijelor port-contact; *8* — segment al contactului mobil.

mărită, o uzură mult mai mică a contactelor şi posibilitatea de a fi uşor modificate prin înlocuirea camelor.

Controlerele se construiesc pentru tensiuni nominale pînă la 750 V şi curenţi nominali cuprinşi între 10 şi 300 A.

Sînt folosite îndeosebi pentru introducerea sau scurtcircuitarea de rezistenţe la pornirea şi reglarea motoarelor asincrone trifazate cu inele, dar şi a motoarelor de curent continuu.

În figura 17.14 sînt reprezentate două soluţii constructive, uşor diferite între ele, de controlere cu came.

● **Controlere de comandă indirectă.** Aşa cum am arătat, necesitatea controlerelor apare îndeosebi la *motoare electrice mari*, în situaţii în care trebuie să se regleze fie numai pornirea, fie atît pornirea, cît şi turaţia acestora.

Datorită acestui fapt, solicitarea contactelor controlerului este deosebit de mare, atît în ceea ce priveşte valoarea curenţilor întrerupţi, dar îndeosebi în ceea ce priveşte frecvenţa de comutare.

În acelaşi timp, la unităţile mari şi puternic solicitate, însăşi manipularea controlerului devine foarte obositoare pentru operator.

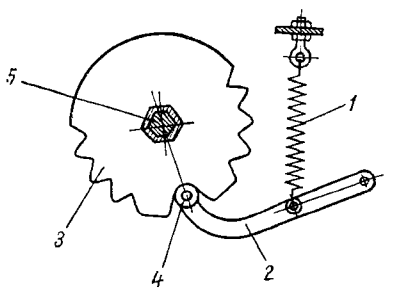


Fig. 17.12. Sistemul de sacadare al unui controler (reprezentare schematică):

1 — resort de sacadare; *2* — pîrghie; *3* — camă de sacadare; *4* — rolă; *5* — ax de susţinere izolat.

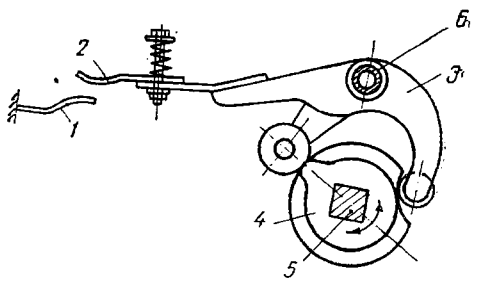


Fig. 17.13. Principiul de funcţionare al unui controler cu came:

1 — contact fix; *2* — contact mobil; *3* — pîrghie dublă cu role; *4* — camă profilată; *5* — ax de acţionare a camelor; *6* — ax izolat.

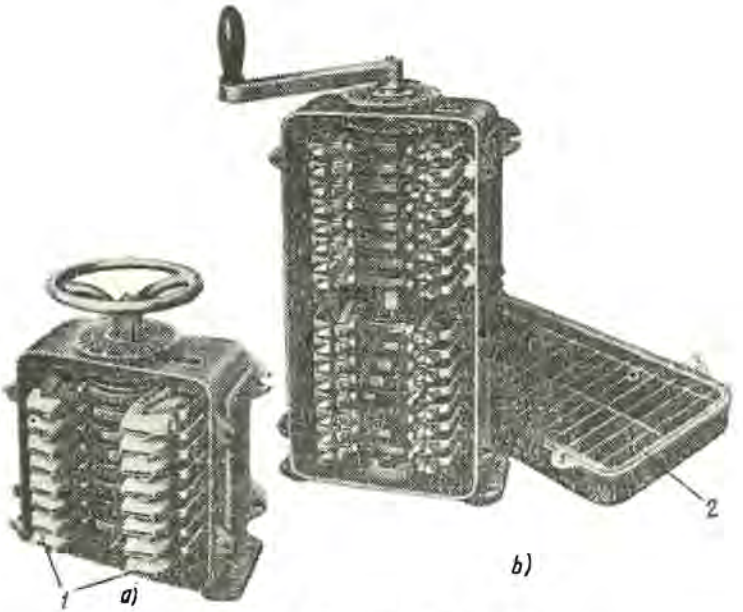


Fig. 17.14. Controlere cu came:
a — soluție cu camerele de stingere aplicate; *b* — soluție cu camerele de stingere încorporate *1* — camere de stingere ceramice; *2* — capac cu camere de stingere.

Pe de altă parte, controlerele sînt aparate de construcție dificilă, cu probleme deosebite de reglaj, dar de serie mică.

Toate aceste elemente, corelate cu dezvoltarea mare pe care a luat-o în ultimul timp construcția contactoarelor (aparate care vor fi studiate în capitolul următor), au făcut ca în ultimul timp *să se renunțe treptat la soluția controlerelor cu comandă directă*, adică la care controlerul întrerupe direct curenții din circuitul rotoric al motorului, *preferîndu-se soluția de comandă indirectă*, în care:

— închiderea și deschiderea contactelor din circuitul rotoric se face cu ajutorul unui număr convenabil de contactoare;

— controlerului nu-i mai rămîne astfel decît sarcina de a stabili și întrerupe curenții de comandă ai contactoarelor, care sînt de sute de ori mai mici.

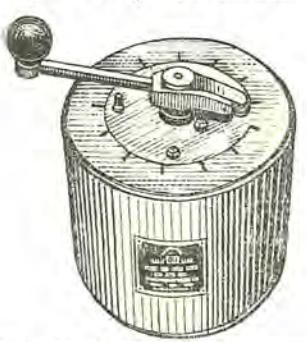


Fig. 17.15. Controler de comandă indirectă.

Prin aceasta, solicitările la care este supus controlerul se reduc mult, el luînd dimensiunile unui aparat de comandă manuală cu came, dar cu un număr mare de poziții (fig. 17.15). În această variantă, ele se numesc „controlere de comandă indirectă" sau numai „controlere de comandă".

2. REZISTENȚE DE PORNIRE ȘI REGLARE

● **Rezistențele de pornire** fiind solicitate numai în timpul pornirii, pot fi încărcate mai mult și au, în consecință, dimensiuni mai reduse.

● **Rezistențele de reglare** care sînt solicitate permanent, au dimensiuni mai mari și sînt

adesea prevăzute cu ventilatoare sau alte dispozitive de evacuare forțată a căldurii.

Materialul din care sînt confecționate rezistențele depinde de mărimea curentului ce străbate rezistențele și de regimul de încărcare. Printre acestea, mai frecvent folosite sînt:

— elemente turnate din *fontă* (fig. 17.16);

— *sîrme sau benzi din material rezistiv* (aliaje speciale cu mare rezistivitate), spiralizate sau înfășurate pe suporți ceramici (fig. 17.17);

— *tablă silicioasă decupată.*

● **Baterii de rezistențe.** *Asamblarea rezistențelor elementare* în grupe de rezistențe se face pe tije rotunde de oțel izolate cu tuburi de micanită. Se-

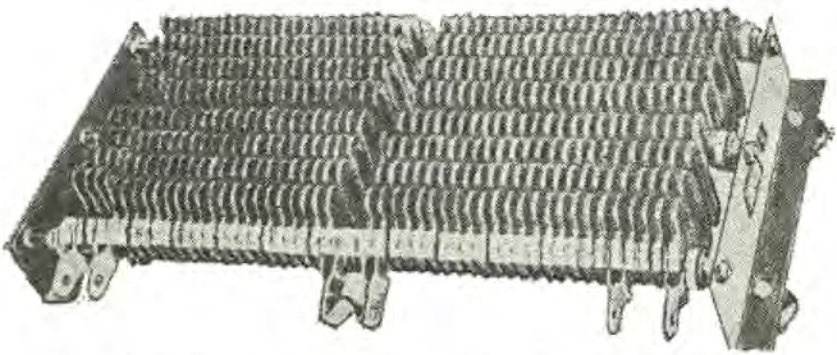


Fig. 17.16. Baterie de rezistențe din elemente de fontă.

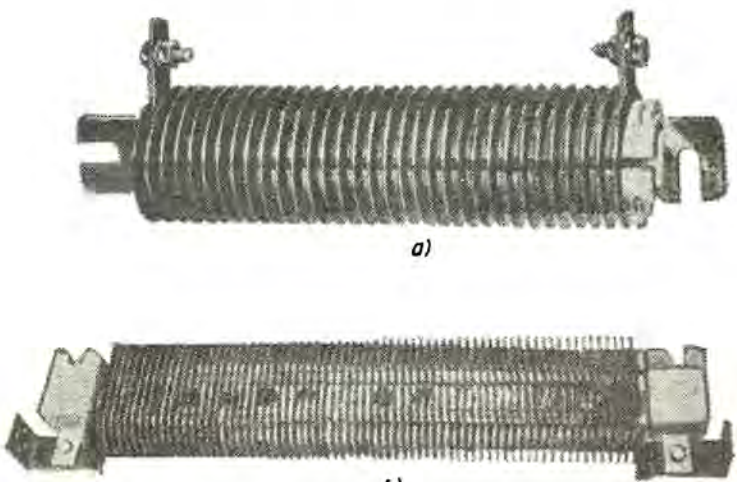


Fig. 17.17. Diferite elemente de rezistențe realizate cu materiale de mare rezistivitate:
a și *b* – profile spiralizate pe suporturi ceramice;

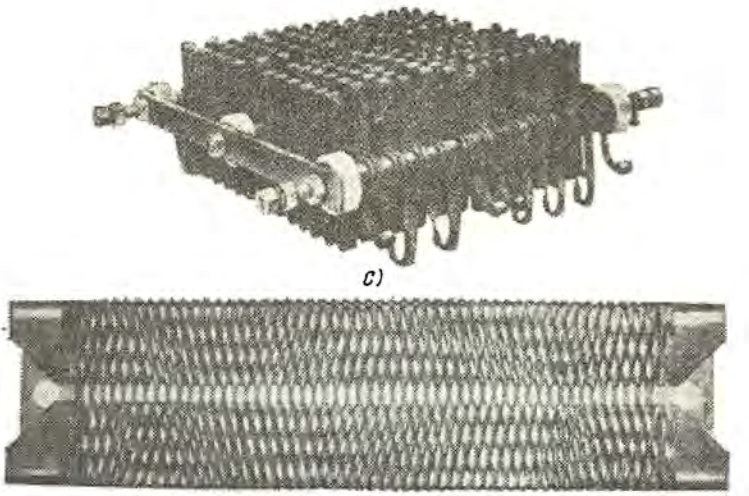


Fig. 17.17

c — baterie de benzi rezistive; *d* — element de rezistență din tablă de material rezistiv, expandată.

pararea și izolarea între diferite elemente se efectuează cu distanțoare din steatit (fig. 17.18).

Contactele electrice dintre diferitele elemente ale unei baterii se realizează numai prin presiune, deoarece la toate materialele folosite pentru confecționarea de rezistențe, conexiunile prin sudură sau prin lipire sînt greu de realizat.

Bateriile de rezistență astfel obținute sînt asamblate în „cutii de rezistențe" ai căror pereți sînt prevăzuți în mod special cu jaluzele de ventilație (fig. 17.19).

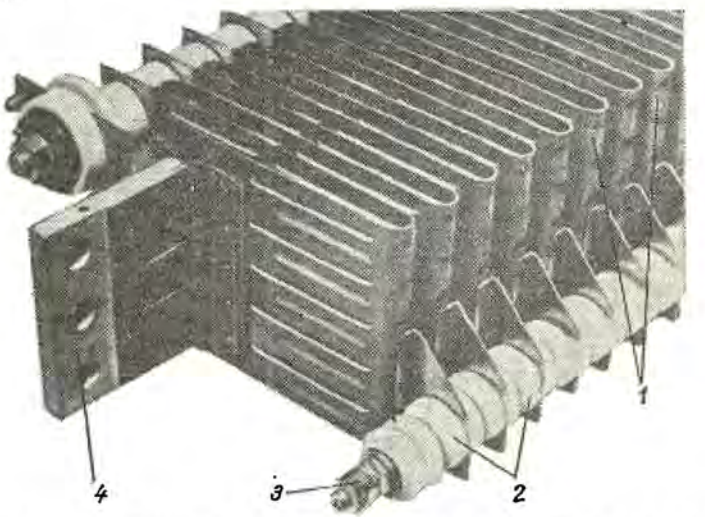


Fig. 17.18. Baterie de rezistențe de mare capacitate pentru motoare de tracțiune:

1 — elemente de rezistență; *2* — distanțoare din steatit; *3* — tijă de susținere; *4* — bornă de racord.

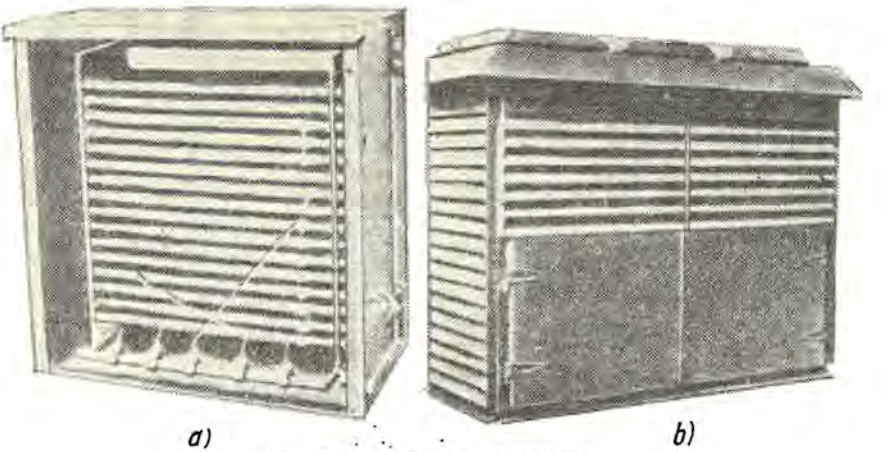


Fig. 17.19. Cutii de rezistențe:
a — cu pereți din tablă expandată; *b* — cu jaluzele de ventilație.

REOSTATE DE EXCITAȚIE PENTRU GENERATOARE

Pentru a se obține reglarea tensiunii generatoarelor electrice de curent continuu sau de curent alternativ, se modifică valoarea curentului de excitație al generatoarelor, prin introducerea sau scoaterea de rezistențe din circuitul de excitație (fig. 17.20).

Aparatele cu ajutorul cărora se introduc sau se scot aceste rezistențe se numesc **reostate de excitație** și se prezintă sub forma unei plăci izolante, de

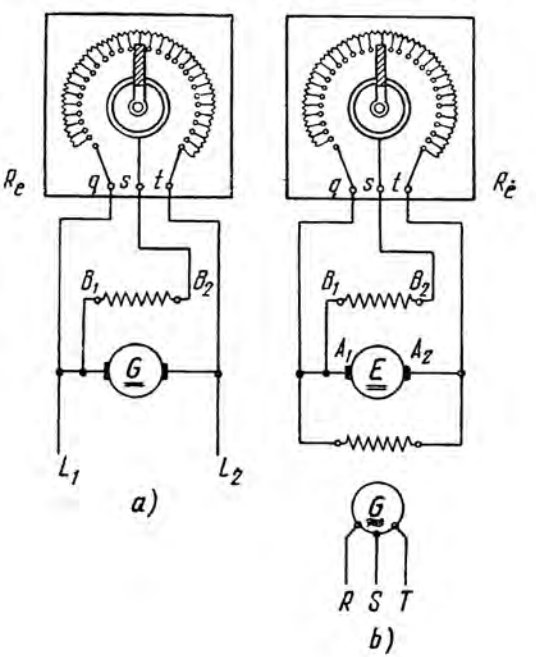


Fig. 17.20. Schema legăturilor unui reostat de excitație:
a — pentru generator de curent continuu; *b* — pentru generator de curent alternativ; R_e — reostat de excitație; *E* — excitatrice; *G* — generator (de curent continuu, respectiv de curent alternativ).

Fig. 17.21. Reostate de excitație, diferite forme constructive.

obicei de marmură, pe care sînt fixate circular o serie de ploturi de alamă. În spatele plăcii, într-o cutie metalică, se află rezistențele fixate prin piulițe la bornele de contact (trei borne situate pe marginea plăcii, care servesc pentru efectuarea legăturilor la generatoare). Cu ajutorul unei manete sau al unei roți, se poate deplasa o perie de contact, care stabilește legătura între unul dintre ploturi și un inel de contact montat pe aceeași placă, modificîndu-se în felul acesta, după voie, valoarea rezistenței introduse în circuit (fig. 17.21).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt efectele conectării în stea-triunghi pentru motorul comandat de un astfel de comutator?
2 — Care sînt condițiile în care este necesară și posibilă conectarea în stea-triunghi?
3 — Descrieți modul în care se realizează conexiunile în schemele reprezentate prin figurile: 16.8; 16.12; 17.6 și 17.9. Reprezentați în culori diferite fiecare situație în parte.

Capitolul 18

APARATE DE COMANDĂ AUTOMATĂ A MOTOARELOR ȘI CIRCUITELOR ELECTRICE

● A. CONTACTOARE ȘI RUPTOARE ● B. CONTACTOARE CU RELEE ● C. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE DE JOASĂ TENSIUNE ● D. ÎNTRERUPTOARE STEA-TRIUNGHI AUTOMATE, COMUTATOARE ȘI INVERSOARE AUTOMATE

Există și aparate de comutare mai perfecționate, care pot executa operațiile de închidere sau deschidere a circuitelor fără ca operatorul să fie lîngă aparat, ci *ca urmare a unei comenzi date de un releu sau de un operator aflat la distanță.* Aceste aparate servesc, îndeosebi, pentru comanda și protecția motoarelor electrice, dar sînt folosite și pentru conectarea și deconectarea circuitelor de orice fel, comanda de conectare și în special cea de deconectare putînd fi dată de un releu care supraveghează funcționarea corectă a instalației (protecția împotriva suprasarcinilor, a scurtcircuitelor, a căderii de tensiune etc.).

Se cuprind aici trei categorii de aparate de joasă tensiune, și anume:

- *contactoare și ruptoare;*
- *contactoare cu relee;*
- *întreruptoare automate,*

deosebindu-se între ele în ceea ce privește principiul de funcționare și domeniile de utilizare.

● **Contactoarele și ruptoarele** reprezintă aparatele cele mai simple. Ele sînt folosite ca aparate de manevră, pentru comanda automată sau de la distanță, a circuitelor de orice fel. Ele au o putere de rupere relativ redusă, însă o rezistență mecanică mare, permițînd un număr mare de manevre cu frecvență ridicată de conectare.

● **Contactoarele cu relee** se obțin prin asocierea unui contactor cu un bloc de relee termice și electromagnetice; ele constituie astfel aparate foarte bine adaptate atît *pentru comanda motoarelor electrice,* cît *și pentru protecția acestora împotriva suprasarcinilor și a scurtcircuitelor de intensitate mică.*

Pentru protecția împotriva curenților mari de scurtcircuit se prevăd siguranțe fuzibile în serie cu contactoarele cu relee, sau se utilizează întrerup-

toare automate care preiau protecția mai multor circuite deservite de contactoare cu relee.

● **Întreruptoarele automate** se caracterizează prin faptul că sînt prevăzute cu un mecanism de zăvorîre, care menține întreruptorul în poziția „închis". Se obțin, în felul acesta, aparate cu putere mare de rupere, dar cu frecvență de manevrare redusă, folosite îndeosebi pentru comanda unor circuite importante și protecția instalațiilor electrice împotriva scurtcircuitelor.

A. CONTACTOARE ȘI RUPTOARE

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Contactoarele și ruptoarele sînt *aparate de manevră, servind pentru stabilirea, întreruperea sau comutarea diferitelor circuite electrice și, îndeosebi, pentru punerea și scoaterea de sub tensiune a motoarelor electrice.*

Ceea ce caracterizează modul de funcționare al unui contactor sau ruptor este faptul că deplasarea contactelor mobile ale acestora nu se mai face acționîndu-se prin forță mecanică asupra axului contactelor mobile, ci indirect, comandîndu-se un electromagnet.

Figura 18.1 ilustrează funcționarea unui contactor acționat prin electromagnet: cu ajutorul unui buton *8* se închide circuitul de alimentare al bobinei electromagnetului *5*; astfel, armătura mobilă *3* este atrasă și circuitul se închide prin deplasarea contactului mobil *2*, care este solidar cu armătura mobilă; contactele rămîn închise numai atît timp cît bobina electromagnetului se află sub tensiune: în momentul în care se întrerupe alimentarea bobinei electromagnetului, circuitul principal se deschide din nou, contactul mobil revenind în poziția de repaus prin acțiunea unui resort *9*.

Din punct de vedere constructiv, contactoarele și ruptoarele se aseamănă foarte mult între ele; deosebirea constă în faptul că, *la contactoare, poziția de repaus corespunde situației cu circuitul principal deschis, în timp ce la ruptoare, poziția de repaus corespunde situației cu circuitul principal închis,* electromagnetul intervenind în sensul deschiderii circuitului (fig. 18.2).

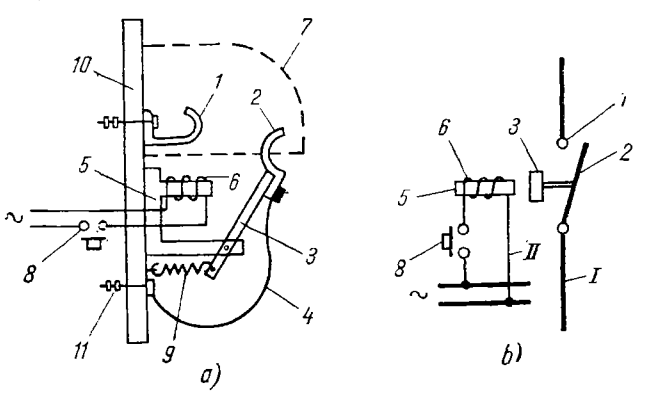


Fig. 18.1. Elemente funcționale și schema electrică a unui contactor:

a — schemă constructivă; *b* — schemă electrică; *1* — contact fix; *2* — contact mobil; *3* — armătura electromagnetului; *4* — legătură flexibilă pentru trecerea curentului; *5* — electromagnet; *6* — bobina electromagnetului; *7* — cameră de stingere; *8* — buton de comandă; *9* — resort de deschidere; *10* — placă de bază din materializolant; *11* — borne de racord la circuitul exterior: *I* — circuit principal; *II* — circuit de comandă.

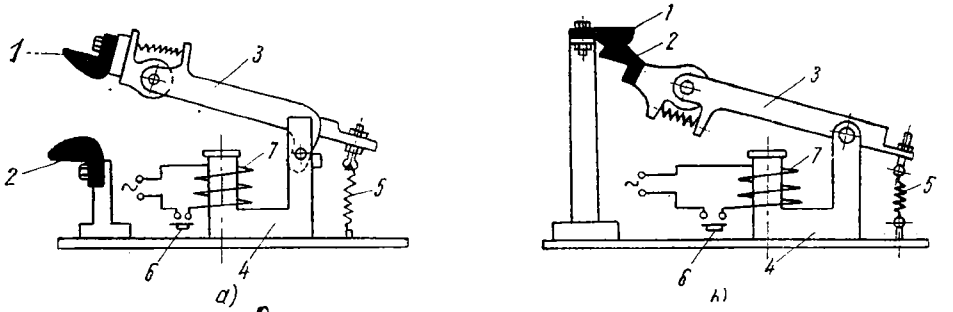


Fig. 18.2. Contactor (*a*) și ruptor (*b*), deosebiri funcționale:
1 — contact fix; *2* — contact mobil; *3* — armătura mobilă a electromagnetului; *4* — electromagnet; *5* — resort antagonist; *6* — buton de comandă; *7* — bobina electromagnetului.

2. TIPURI CONSTRUCTIVE ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE

● **După felul curentului din circuitul principal** (circuitul comandat), contactoarele și ruptoarele se clasifică astfel:

- *contactoare și ruptoare de curent continuu;*
- *contactoare și ruptoare de curent alternativ.*

În mod normal, contactoarele se construiesc pentru tensiuni pînă la 440 V în curent continuu și 380 sau 660 V în curent alternativ, și intensități nominale cuprinse între 6 și 600 A.

Contactele mobile ale contactoarelor și ruptoarelor sînt acționate:

— *prin electromagneți* (de curent continuu sau de curent alternativ, indiferent de felul curentului din circuitul principal). Aceasta este *soluția cea mai frecvent folosită*, prezentînd o serie de avantaje (posibilități largi de comandă la distanță, comandă ușoară și rapidă prin intermediul unor relee, putere de rupere suficient de mare);

— *cu aer comprimat*, îndeosebi la contactoare de curent continuu pentru curenți mari (tracțiune electrică), unde este necesară separarea rapidă a contactelor;

— *mecanic*, prin arbori cu came; metoda este utilizată rar și numai la intensități mici, deoarece puterea de rupere este mică, viteza de separare a contactelor fiind redusă.

● **După numărul de poli,** se deosebesc contactoare și ruptoare *monopolare, bipolare, tripolare* (cele mai frecvent folosite) și *tetrapolare* (una dintre căile de curent servind pentru contactul de autoreținere) *.

---

* *Contact de autoreținere* = contact ce se deplasează concomitent cu contactele mobile ale unui contactor și este conectat în circuitul de comandă al acestuia, în paralel cu butonul de comandă. Rolul său este ca, odată cu circuitul principal închis, să-l mențină în această situație și după ce operatorul nu mai acționează asupra butonului de comandă. Deschiderea contactului se realizează apăsîndu-se pe butonul de deschidere, care întrerupe circuitul de comandă, fiind legat în serie cu butonul de comandă și cu contactul de autoreținere (fig. 18.8, poziția 5).

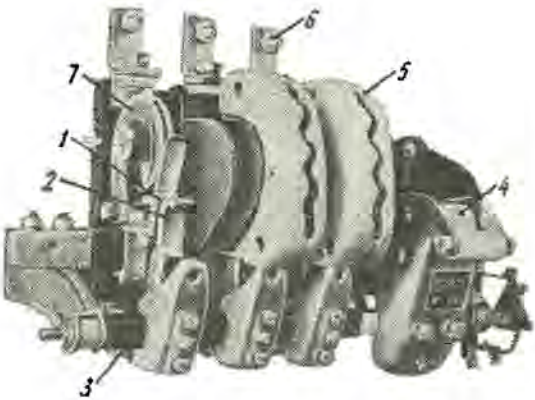


Fig. 18.3. Contactor tripolar cu o singură întrerupere pe fază (o cameră de stingere a fost scoasă pentru a se vedea contactele):
1 — contact fix; *2* — contact mobil; *3* — bară izolantă pentru acționarea contactelor mobile; *4* — electromagnet de acționare; *5* — cameră de stingere a arcului; *6* — borne de racord la rețea; *7* — bobină de suflaj magnetic a arcului.

● **După modul de deplasare al contactelor mobile,** se deosebesc:

• *contactoare cu mișcare de rotație a contactelor mobile* (cu o singură întrerupere pe fază) (v. fig. 18.1, 18.2 și 18.3);

• *contactoare cu mișcare de translație* (cu două întreruperi pe fază) (fig. 18.4).

Contactoarele cu rotație sînt mai robuste la solicitări prin vibrații, au o putere de rupere relativ mare (comportîndu-se mai bine la utilizarea în curent continuu) și se pot realiza cu ușurință în diferite variante constructive (cu număr variabil de poli sau de contacte auxiliare). Ele au însă cîteva dezavantaje: gabaritul este relativ mare, se pretează mai puțin la o mecanizare avansată a fabricației, existența legăturilor flexibile limitează numărul posibil de manevre fără defecțiuni și, la intensități nominale mici, revin mai scumpe decît cele cu translație.

Contactoarele cu translație prezintă avantajul unui gabarit redus, ceea ce este foarte favorabil pentru realizarea de panouri compacte; se pretează mai bine unei mecanizări avansate a fabricației și a montajului; au o durată mecanică de serviciu mare și un cost mai redus. Ele reprezintă o soluție practic generalizată la contactoarele avînd curenți nominali pînă la 63 ... 100 A, întîlnindu-se însă numeroase construcții chiar pînă la 400 A.

După mediul de stingere a arcului se deosebesc:

• *contactoare cu ulei;*

• *contactoare în aer.*

Contactoare cu ulei (fig. 18.5), la care atît contactele principale și cele auxiliare, cît și bobina electromagnetului, sînt scufundate în ulei mineral.

Se obține în felul acesta pe de o parte separarea mediului în care lucrează contactele, împotriva acțiunii mediului exterior (praf, umezeală, vapori corosivi), iar pe de altă parte se protejează mediul exterior împotriva efectelor arcului electric de întrerupere (în medii cu pericol de aprindere sau de explozie, conținînd praf de cărbune, gaze inflamabile etc.).

Funcționarea sub ulei asigură de asemenea ungerea naturală a mecanismului, concomitent cu o răcire mai bună a bobinei.

Anumite fenomene fizice legate de modul de întrerupere a arcului electric în ulei fac însă ca, *în condiții egale de întrerupere, durata de serviciu a contactelor de întrerupere în ulei să fie de 10 ... 20 ori mică decît în cazul întreruperii*

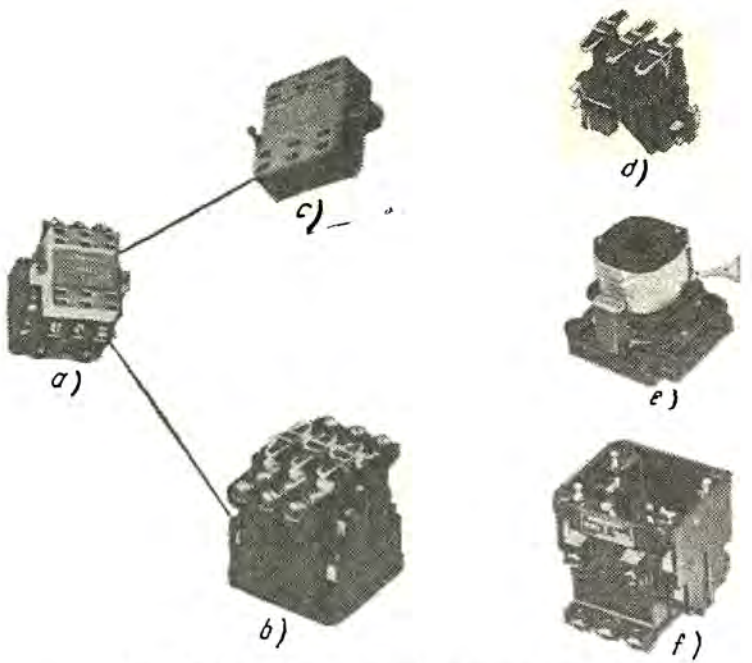


Fig. 18.4. Contactor cu două intreruperi pe fază:

a — contactorul asamblat; *b* — acelaşi contactor cu camera de stingere scoasă; *c* — camera de stingere; *d* — subansamblul contactelor mobile; *e* — armătura fixă şi bobina electromagnetului; *f* — carcasa.

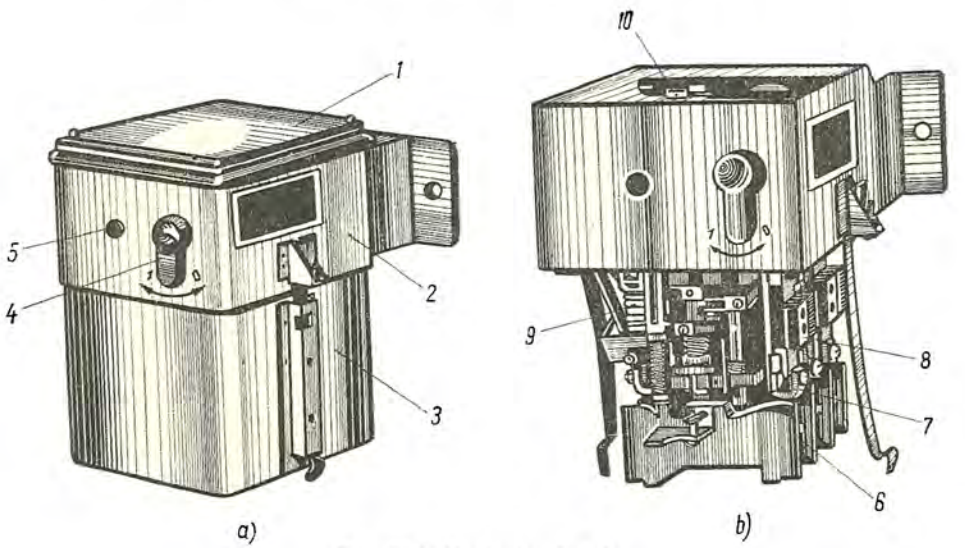


Fig. 18.5. Contactor în ulei:

1 - capac; *2* — corp; *3* — cuvă de ulei; *4* — manetă de comandă; *5* — indicator de poziţie; *6* — contacte mobile; *7* — contacte fixe; *8* — contacte auxiliare; *9* — transformator de curent pentru alimentarea releelor; *10* — borne de legare la reţea.

în aer; de asemenea, inerția mai mare a mecanismului mobil în ulei și carbonizarea în timp a uleiului, au limitat domeniile de utilizare a contactoarelor în ulei, care se folosesc:

— *numai în circuite de curent alternativ* (nu se folosesc în curent continuu);

— *în medii cu umiditate deosebit de mare, în atmosferă cu mult praf sau vapori chimic agresivi* (instalații de preparare a cărbunelui, industria chimică, industria cimentului etc.);

— *acolo unde frecvența de conectare nu depășește 60 conectări pe oră.*

Pentru aceste motive, contactoarele în ulei reprezintă mai puțin de 10% din contactoarele ce se construiesc în prezent, utilizarea lor menținîndu-se în medii cu atmosferă puternic corosivă.

Contactoare în aer. Pentru toate celelalte utilizări și îndeosebi acolo unde frecvența de conectare este mai mare, se folosesc contactoare în aer, datorită următoarelor *avantaje:*

— durata de serviciu a contactelor este de 10 ... 20 de ori mai mare decît la contactoarele în ulei;

— permit frecvențe de conectare foarte mari (600 ... 3 000 conectări/oră);

— se pot monta practic în orice poziție;

— se pot folosi și în curent continuu.

3. ELEMENTE COMPONENTE

Oricare ar fi varianta constructivă a contactorului, el este alcătuit din următoarele elemente (v. fig. 18.1): *circuitul principal de curent, circuitul de comandă, circuitele auxiliare, camerele de stingere, elementele izolante, elementele metalice, cuva de ulei, elementele de fixare.*

● **Circuitul principal de curent** este format din: *borne de racord la circuitul exterior, contacte fixe și contacte mobile.*

La contactoarele cu o singură întrerupere pe pol (contactoare cu rotație) se întîlnește în circuitul principal și un *conductor flexibil* (poziția *4*, fig. 18.1), care face legătura electrică între contactul mobil și borna de racord la circuitul exterior.

Toate elementele circuitului principal de curent sînt din cupru, cu excepția pieselor de contact care, la contactoarele în aer, au aplicate nituri sau plăcuțe de contact din argint sau material de contact din argint-oxid de cadmiu.

Datorită numărului foarte mare de conectări cărora trebuie să le facă față un contactor, contactele sale sînt puternic solicitate atît mecanic, prin loviturile puternice pe care le suportă la închidere, cît și electric și termic, prin efectul arcului de întrerupere.

● **Circuitul de comandă** cuprinde: *bobina electromagnetului de acționare, contactele de autoreținere* și *butonul de comandă.*

Electromagnetul de acționare avînd miezul magnetic din tablă silicioasă și bobina de excitație din sîrmă de cupru izolată cu email, este și el foarte puternic solicitat: mecanic, de către loviturile pe care le suportă armăturile la închiderea electromagnetului, și termic, prin curenții mari care străbat bobina în timpul închiderii.

● **Circuitele auxiliare** sînt formate din: *contactele de blocare* și *contactele de semnalizare.*

● **Camerele de stingere** (prezente numai la contactoarele în aer), sînt executate din termoceramit, azbest, azbociment sau chiar mase plastice cu comportare favorabilă la arcul electric.

● **Elementele izolante** asigură izolația căilor de curent între ele și față de masă. Sînt realizate cel mai adesea din plăci izolante din masă plastică (melamină, bachelită) și mai rar din mase ceramice.

● **Elementele metalice** au rol de susținere mecanică și sînt întîlnite îndeosebi la contactoarele cu rotație.

● **Cuva de ulei cu capacul de protecție** (numai la contactoarele în ulei) și **elementele de fixare** sînt alte elemente ale contactorului.

4. PROBLEME DE UTILIZARE ȘI EXPLOATARE CORECTĂ

Una dintre problemele principale ale folosirii corecte a contactelor o constituie *alegerea corespunzătoare* a acestora, în acord cu solicitările cărora ele sînt supuse în timpul serviciului, la locul în care sînt montate efectiv. Aceste solicitări sînt definite de un număr de parametri, dintre care unii sînt practic întotdeauna luați în considerație de proiectantul instalației sau de acela care alege aparatul ce trebuie folosit, în timp ce alții, la fel de importanți pentru funcționarea de durată a contactorului, sînt în mod frecvent uitați.

● **Parametrii care sînt luați în considerație în mod normal** și asupra cărora nu se va insista mai departe sînt:

— *felul curentului în circuitul principal:* curent continuu sau curent alternativ (cu indicarea frecvenței);

— *tensiunea și curentul nominal;*

— *puterea de rupere și capacitatea de închidere.*

● **Parametrii care sînt relativ frecvent neglijați** se referă la condițiile de lucru cărora trebuie să le facă față contactorului și sînt:

— *regimul de lucru* al contactorul, caracterizat prin frecvența conectărilor și durata acestora;

— *natura sarcinii* din circuitul comandat.

Regimul de lucru. Domeniul de utilizare al contactelor fiind foarte mare și în continuă extindere, cuprinde situații foarte diferite în ceea ce privește natura circuitului comandat și solicitările pe care acesta le impune contactorului. Astfel, de exemplu (fig. 18.6):

— la conectarea și deconectarea unui *circuit simplu cu rezistențe,* contactorul este străbătut de un curent cel mult egal cu cel de sarcină (fig. 18.6, *a*);

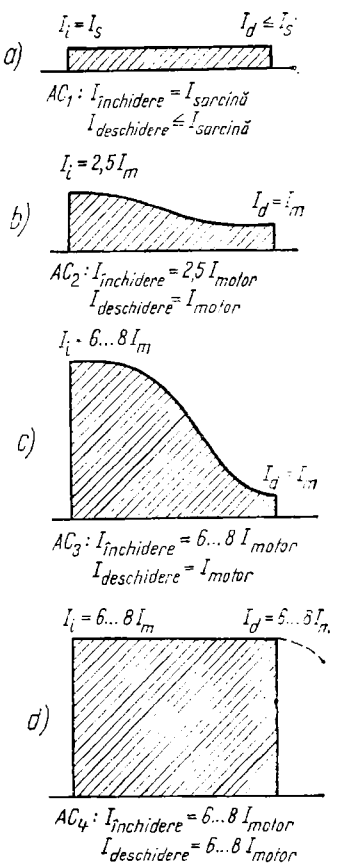


Fig. 18.6. Reprezentarea grafică a condițiilor de lucru ale contactelor la diferite categorii de sarcină.

— dacă contactorul comandă pornirea unui *motor asincron cu inele*, el este străbătut la închidere de un curent de 2,5 ... 3 ori mai mare decît curentul nominal al motorului (fig. 18.6, *b*), în timp ce la deschiderea circuitului, curentul întrerupt este în mod normal cel mult egal cu curentul de sarcină al motorului;

— dacă *motorul* este de aceeași putere, dar cu *rotorul în scurtcircuit*, curentul de pornire ce străbate contactorul la închidere poate fi de 6 ... 8 ori mai mare decît curentul nominal al motorului (fig. 18.6, *c*);

— la *întreruperea circuitelor* de mai sus, solicitările contactorului pot de asemenea să difere mult între ele; curentul întrerupt este în mod normal cel mult egal curentului nominal al motorului, dar dacă întreruperea circuitului are loc imediat după punerea sa sub tensiune, curentul întrerupt este chiar curentul de pornire, putînd atinge valori de 6 ... 8 ori curentul nominal al motorului (fig. 18.6, *d*).

Natura sarcinii. Există mulți alți factori care fac ca solicitarea unui contactor și îndeosebi a contactelor acestuia, să fie mai mică sau foarte severă, în funcție de natura consumatorilor din circuitul comandat. Pentru a se putea da unele indicații în ceea ce privește alegerea și utilizarea corectă a contactoarelor, au fost stabilite prin standarde anumite *„categorii de sarcină"*, considerate normale sau reprezentative. Fiecăreia dintre aceste categorii de sarcină îi corespund condiții diferite de încercare a contactoarelor, care pot fi astfel clasificate după aptitudinile lor de a stabili și întrerupe circuite cu un anumit grad de dificultate.

Aceste categorii de sarcină standardizate sînt reprezentate în figura 18.6.

5. DURATA DE SERVICIU A CONTACTOARELOR

Atît regimul de lucru (frecvența de conectare), cît și tipul de sarcină din circuitul comandat au o mare influență asupra duratei de serviciu a contactorului. Această durată de serviciu se exprimă în două moduri:

• *durata de serviciu „mecanică"* a contactorului, egală cu numărul de manevre în gol (operații complete de închidere și deschidere, dar fără curent în circuitul principal), pe care contactorul le poate efectua înainte de a fi necesare revizii sau înlocuiri de piese mecanice;

• *durata de serviciu „electric"* sau *durata de serviciu a contactelor*, care se exprimă prin numărul de manevre ce se pot efectua în sarcină, în anumite condiții de utilizare, înainte de a fi necesară schimbarea contactelor.

● În funcție de **durata de serviciu mecanică**, standardele împart contactoarele în mai multe „categorii de robustețe mecanică", exprimată de exemplu (în STAS 4479-61) pentru contactoarele în aer, prin valorile:

0,25; 1,2; 5; 10 milioane de manevre în gol.

Practic, valorile mici ale duratei de serviciu mecanică corespund contactoarelor cu mișcare de rotație, valoarea de 5 milioane de manevre corespunde contactoarelor cu translație avînd curenții nominali de la 60 A în sus, iar valoarea de 10 milioane manevre corespunde contactoarelor cu translație avînd curenții nominali mici (6 ... 25 A).

Pentru contactoarele în ulei, durata de serviciu mecanică este mai redusă, și anume de ordinul a 50 000 ... 100 000 manevre.

○○○ **Important.** Durata de serviciu a contactelor este, în condiții normale, egală cu 1/10 ... 1/5 din durata de serviciu mecanică și *este foarte mult influențată de natura sarcinii din circuitul comandat.*

Pentru a avea o imagine mai corectă în legătură cu ceea ce reprezintă practic durata de serviciu, se pot urmări cîteva exemple:

— în cazul unui contactor al cărui regim normal de lucru este AC_3 și care este utilizat la o frecvență de conectare considerată „normală", de 40 conectări pe oră, timp de 8 ore pe zi, rezultă că un contactor construit pentru o durată de serviciu mecanică de 1 milion de manevre poate funcționa fără alte intervenții timp de 10 ani, decît schimbarea contactelor în fiecare an;

— dacă același contactor este folosit într-un regim de lucru „intensiv" cu 600 conectări pe oră, el va trebui schimbat după circa 8 luni, iar contactele vor trebui înlocuite la fiecare trei săptămîni;

— în cazul unui regim de lucru foarte greu, caracterizat prin 1 200 conectări pe oră și lucru neîntrerupt, chiar un contactor construit pentru 10 milioane de manevre nu durează mai mult de un an (același contactor folosit timp de 8 ore pe zi la 40 conectări pe oră ar rezista circa 100 ani, deci practic nelimitat);

— dacă regimul de lucru cuprinde și un număr important de întreruperi în regim de pornire (curentul de întrerupere este de 5...7 I_{nom}), uzura contactelor poate fi atît de mare încît să fie necesară schimbarea lor la 1—2 luni.

○○○ **Important de reținut.** În regimuri grele de lucru, pentru a se evita uzura prea rapidă a contactelor, se aleg de la început contactoare supradimensionate.

Rezultă din cele expuse pînă aici că, la alegerea datelor nominale ale unui contactor și la stabilirea perioadelor de revizie ale acestuia *trebuie să se acorde o foarte mare atenție condițiilor în care trebuie să lucreze contactorul,* în ceea ce privește frecvența de conectare și natura circuitului comandat, *aceste condiții putînd să determine variații considerabile în durata sa utilă de serviciu.*

În figura 18.7 sînt date cîteva tipuri de contactoare care se fabrică la întreprinderea Electroaparataj.

B. CONTACTOARE CU RELEE

În funcționarea motoarelor electrice apar frecvent situații în care motorul este supraîncărcat, ceea ce, dacă suprasarcina se menține, poate provoca arderea motorului prin depășirea temperaturilor admise în bobinaj.

Astfel de *supraîncălziri periculoase pot fi provocate de:*

— *supraîncărcarea mecanică* a agregatului antrenat de electromotor;
— *blocarea mecanică a rotorului;*
— *tensiunea de alimentare sub cea nominală;*
— *întreruperea unei faze;*
— *frecvență prea mare de conectare.*

Pentru a se rezolva în cît mai bune condiții atît comanda cît și protecția motoarelor electrice, se obișnuiește să se asocieze în același ansamblu:.

- *un contactor:*
- *trei relee electromagnetice* (cîte unul pe fază);
- *două sau trei relee termice,*

fiecare dintre acestea preluînd o anumită funcție.

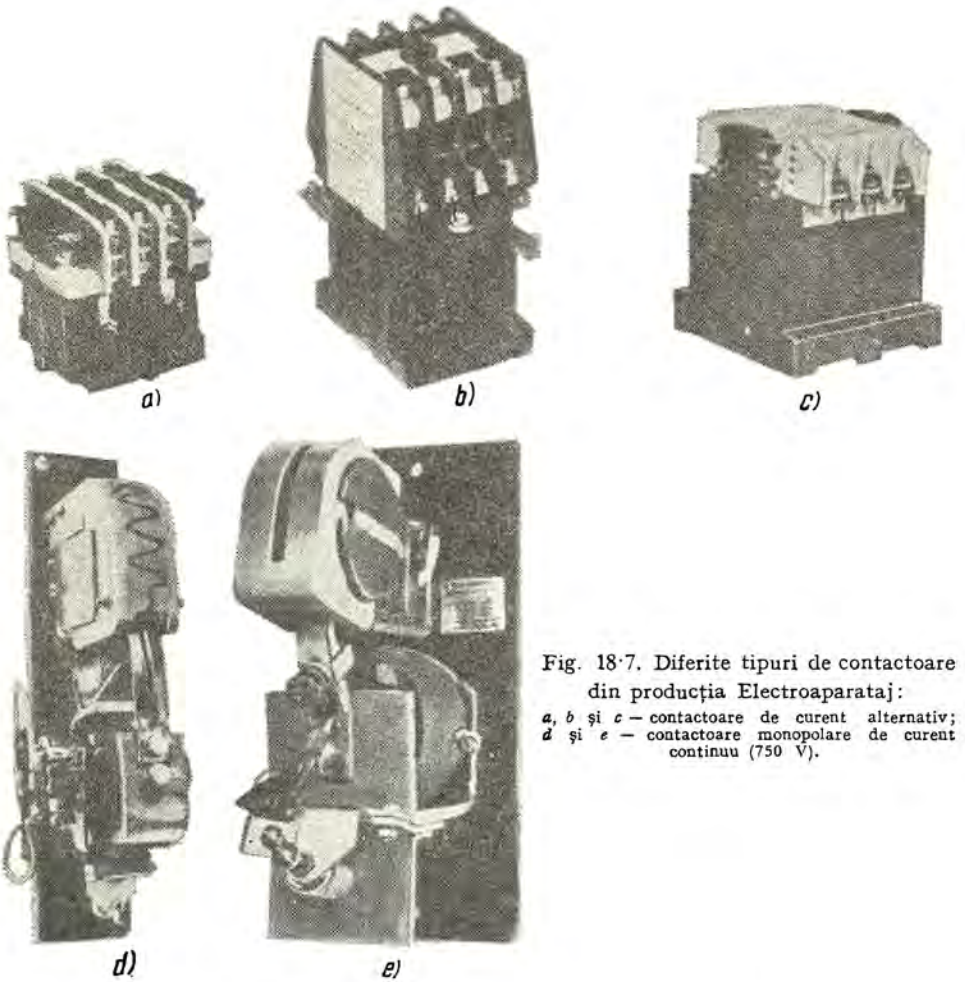


Fig. 18·7. Diferite tipuri de contactoare din producţia Electroaparataj:
a, *b* şi *c* — contactoare de curent alternativ; *d* şi *e* — contactoare monopolare de curent continuu (750 V).

• **Contactorul** îndeplineşte funcţia de *aparat de manevră*, închizînd sau deschizînd circuitul principal, la comanda voită a unui operator. Cînd în instalaţia protejată se produce însă ceva anormal, deschiderea sa poate fi provocată şi în mod automat, de un releu.

• **Releele electromagnetice** *asigură protecţia instalaţiei împotriva scurtcircuitelor*, comandînd în caz de avarie, fără întîrziere, deschiderea contactorului.

• **Releele termice** *asigură protecţia instalaţiei împotriva suprasarcinilor*, comandînd deschiderea contactorului cînd curentul depăşeşte valoarea normală un timp îndelungat. Se obţine, în felul acesta, un ansamblu cu care se pot realiza atît operaţiile de manevră, cît şi protecţia instalaţiei.

Tipul de relee termice care s-a impus şi se generalizează în prezent, îl constituie *releele termice cu bimetal*.

1. ASOCIEREA UNUI CONTACTOR CU UN BLOC DE RELEE

Este posibil ca contactorul și releele respective să fie executate ca unități distincte și montate separat, cu condiția ca legăturile electrice să înserieze în mod corect releele în circuitul protejat.

Această posibilitate de separare spațială a contactorului de blocul său cu relee, precum și faptul că, în anumite scheme de acționări (de exemplu, la comutatoarele automate stea-triunghi, la comutatoarele automate de număr de poli și în alte scheme similare), *un singur grup de relee protejează un circuit deservit de mai multe contactoare*, a determinat construirea unor blocuri de relee separate, executate ca aparate distincte, ce se pot amplasa în instalație acolo unde spațiul permite mai bine. Din punct de vedere funcțional, acestea acționează totdeauna în asociație cu contactoarele, prin intermediul cărora realizează întreruperea circuitului în caz de defect.

● În figura 18.8 se arată modul dîn care se poate realiza un **contactor cu relee termice**, iar în figura 18.9 este reprezentat un **contactor tripolar în aer, căruia i s-au atașat relee termice și electromagnetice,** ultimele constituind unități monofazate de sine stătătoare, care pot fi montate oriunde în circuit.

○ **Trebuie reținut** însă faptul **că,** pentru argumente care vor fi expuse mai departe, *releele electromagnetice sînt din ce în ce mai puțin folosite în asociație cu contactoare,* locul lor luîndu-l siguranțele fuzibile.

● În figura 18.10 este reprezentată schema electrică a unui **contactor cu relee în ulei** de 100 A. *Modul de funcționare* conform acestei scheme este următorul:

În cazul în care contactorul este deschis, cu ajutorul manetei sau butonului de comandă *3* se închide contactul de închidere *1*. În felul acesta, bobina electromagnetului de acționare *4* este pusă sub tensiune, fiind alimentată prin circuitul: faza *R*, contactul de deschidere *D* al butonului de comandă *3*, contactul de închidere *I* al aceluiași buton, contactele auxiliare *8*, bobina electromagnetului *4*, faza *S*.

Fiind astfel pusă sub tensiune între fazele *R* și *S*, bobina electromagnetului de acționare *4* determină închiderea contactorului, punerea sub tensiune a bor-

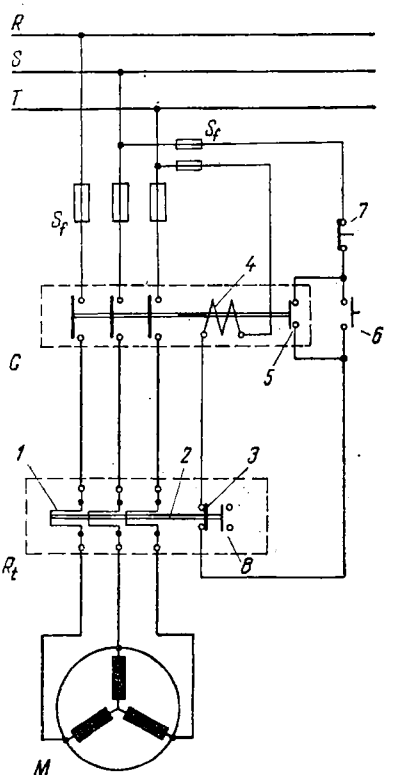


Fig. 18.8. Schemă de conexiuni a unui motor electric trifazat, protejat prin contactor și bloc cu relee termice:

C — contactor; R_t — bloc cu relee termice; *M* — motorul protejat; S_f — siguranțe fuzibile; *1* — bimetal; *2* — tijă izolantă prin intermediul căreia bimetalele acționează asupra contactului de întrerupere; *3* — contact de întrerupere; *4* — bobina de acționare a contactorului; *5* — contact de autoreținere; *6* — buton de comandă a închiderii; *7* — buton de comandă a deschiderii; *8* — contact de semnalizare a deschiderii prin intermediul releului.

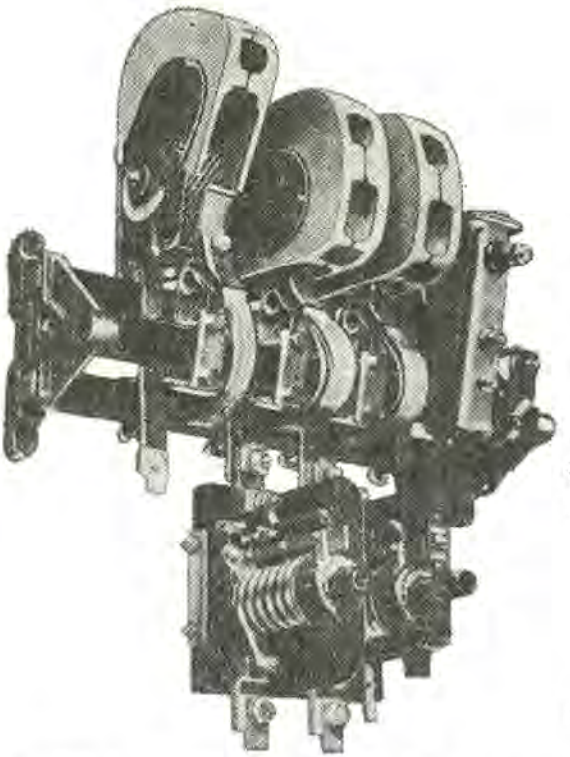


Fig. 18.9. Contactor trifazat în aer, cu mișcare de rotație a contactoarelor, asociat cu blocuri monofazate de relee termice și electromagnetice.

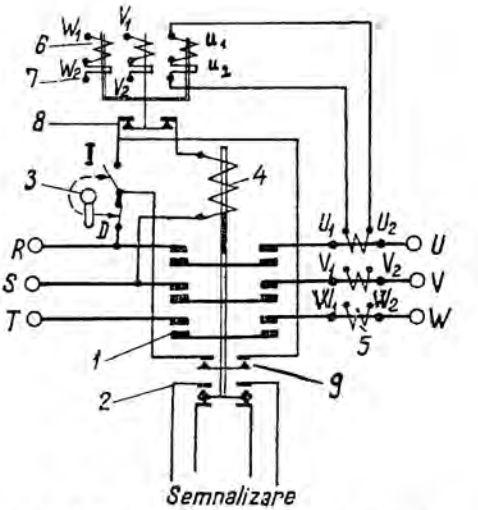


Fig. 18.10. Schema electrică a unui contactor cu relee în ulei, de 100 A:

1 — contacte principale; *2* — contacte auxiliare; *3* — buton de comandă; *4* — electromagnet de acționare; *5* — transformatoare de alimentare a releelor; *6* — relee electromagnetice; *7* — relee termice; *8* — contacte acționate de relee; *9* — contact de reținere.

nelor U, V, W și, deci, punerea sub tensiune a motorului (sau a altui consumator) conectat la aceste borne.

Odată cu închiderea contactelor principale *1*, se închid și contactele de reținere *9*, astfel încît bobina electromagnetului de acționare *4* rămîne sub tensiune chiar dacă nu se mai acționează asupra butonului de închidere *I*.

În timp ce contactul este închis, înfășurările primare $U_1—U_2$, $V_1—V_2$ și $W_1—W_2$ ale transformatoarelor de curent *5*, sînt parcurse de curentul din circuitul principal, iar secundarul acestora alimentează cu un curent redus proporțional, circuitul releelor de protecție *6* și *7*.

Dacă sarcina motorului este prea mare și curentul care străbate circuitul principal crește peste valorile admise, curentul din secundarul transformatorului de curent *5* crește și el, determinînd încălzirea releelor cu bimetal *7*. Dacă se depășește sarcina permisă un timp mai îndelungat, releele cu bimetal *7* acționează asupra contactului auxiliar *8*, deschizîndu-l.

Deschiderea contactului auxiliar *8* determină întreruperea alimentării bobinei *4* și, sub acțiunea arcurilor antagoniste, contactorul se deschide.

Reanclanșarea nu se poate realiza imediat, ci numai după ce bimetalele s-au răcit și permit închiderea contactului *8*. În mod analog, dacă se produce un scurtcircuit dincolo de bornele U, V, W, bobinele releelor electromagnetice *6*

sînt alimentate prin intermediul transformatoarelor de curent *5*, cu un curent mare. Aceste relee comandă imediat deschiderea contactului.

În cazul în care contactorul este închis, pentru a-l deschide se apasă pe contactul *D* al butonului de comandă *3*; prin aceasta se întrerupe, în mod voit, alimentarea bobinei *4* şi contactorul se deschide.

Îndată ce s-a încetat apăsarea pe butonul *D*, acesta revine în poziţia sa normală, contactul *D* se închide şi contactorul este pregătit pentru a primi o comandă de închidere.

Contactele auxiliare *2* servesc pentru a indica la distanţă (de exemplu prin aprinderea unei lămpi de semnalizare) poziţia contactorului.

2. BLOCURI CU RELEE TERMICE

Aşa cum s-a arătat mai înainte, se preferă astăzi să se separe fizic construcţia contactorului de cea a releelor, fiecare din acestea executîndu-se ca unităţi distincte în condiţiile optime de fabricaţie, specifice fiecăruia.

În acelaşi timp se renunţă din ce în ce mai mult la folosirea releelor electromagnetice în asociaţie cu contactoarele *.

Aceste două tendinţe au determinat apariţia unor relee termice în unităţi trifazate de sine stătătoare, numite blocuri cu relee termice şi care se realizează, ca şi contactoarele de care sînt strict legate funcţional, pentru o plajă de curenţi nominali, mergînd de la 6 la 400 A.

a. Construcţia

În construcţia releelor termice cu bimetal pentru protecţia motoarelor electrice, se folosesc numai bimetalele în formă lamelară, încălzirea acestora putînd fi directă sau indirectă.

Părţile componente ale unui bloc cu relee termice sînt (fig. 18.11):

— *soclul 1*, presat din bachelită;

— *bornele de racord la circuitul exterior principal 2;*

— *bornele de racord la circuitul bobinei contactorului 3;*

— *lamelele bimetalice 4*, în număr de trei sau patru în funcţie de construcţia releului (a patra lamelă — pentru compensarea temperaturii mediului);

— *butonul de rearmare a releului* după declanşare *5;*

— *butonul de reglare a curentului la care releul să declanşeze 6;*

— *o pîrghie 8*, permiţînd la nevoie rearmarea de la distanţă cu ajutorul unui mic electromagnet;

— *sistemul mecanic 9*, care transformă mişcarea de încovoiere a bimetalelor în mişcare de separare a contactelor din circuitul bobinei;

— *capacul 7* al releului, realizat din material electroizolant.

Figura 18.12 reprezintă schematic modul de funcţionare a releelor termice cu bimetal.

---

* Releele electromagnetice continuă a fi folosite în cadrul întreruptoarelor automate, care vor fi analizate mai departe.

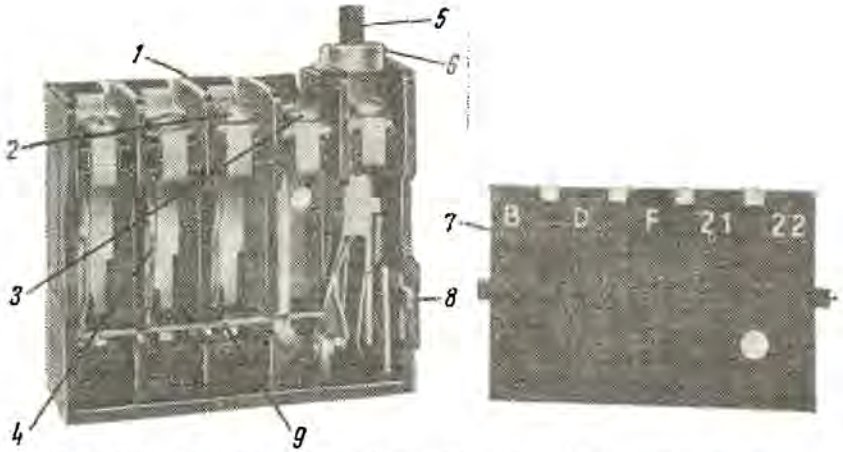


Fig. 18.11. Bloc de relee termice cu bimetal — elemente componente.

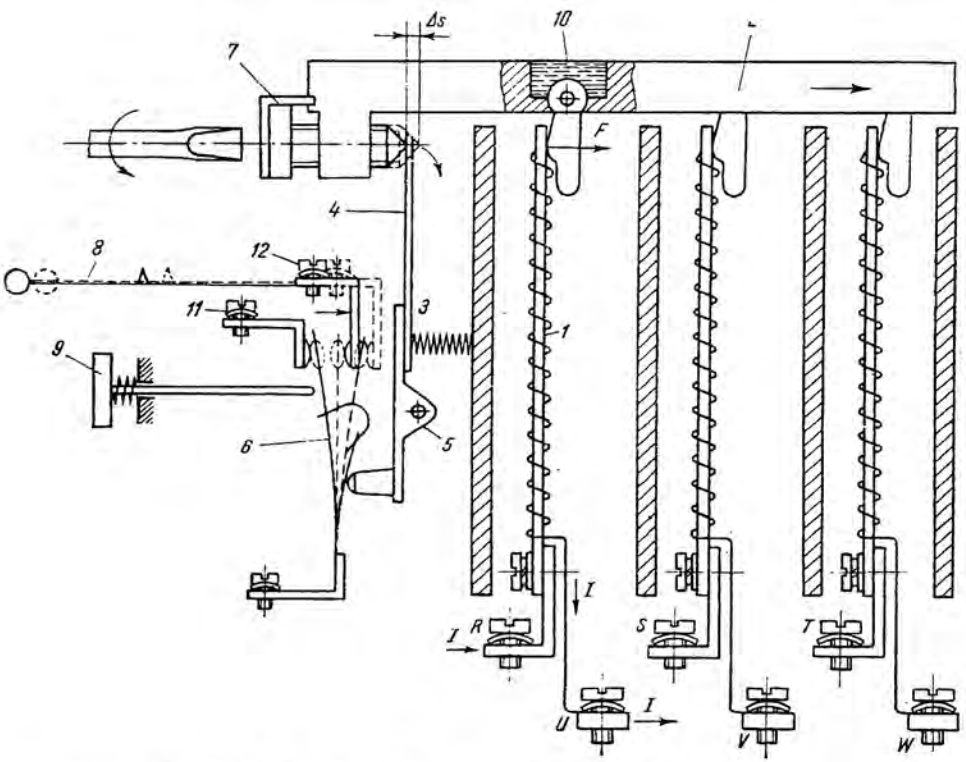


Fig. 18.12. Releu termic cu bimetal. Schemă funcțională:

1 — lamă de bimetal cu încălzire mixtă; *2* — punte de declanșare; *3* — resort de compresiune; *4* — termobimetal de compensare a temperaturii mediului; *5* — pîrghie de declanșare; *6* — întreruptor auxiliar de declanșare (cu rupere bruscă); *7* — șurub de reglare a curentului de declanșare; *8* — pîrghie de blocare; *9* — buton de declanșare manuală; *10* — chit de fixare a reglajului fiecărui bimetal, la producător; *11* — bornă de racord la bobina contactorului; *12* — bornă de racord la un circuit de semnalizare a declanșării; Δ_s — cursa de reglaj; *F* — sensul de îndoire a bimetalelor.

b. Condiții impuse de standarde

La releele cu bimetale este important să se cunoască timpul după care bimetalul acționează cînd este străbătut de un curent dat. Pentru un anumit releu, acest timp este cu atît mai mic cu cît curentul care străbate bimetalul este mai mare și se poate determina din caracteristica de funcționare a releului.

Se numește **caracteristică de funcționare a unui releu cu bimetal**, *curba care arată dependența dintre valoarea curentului și timpul în care releul acționează* (fig. 18.13), *în condiții de încercare precizate prin norme.*

Standardele în vigoare impun următoarele condiții releelor termice cu bimetal, destinate protecției motoarelor electrice:

— *să nu declanșeze în timp de două ore la un curent egal cu 1,05* I_n;
— *să declanșeze în timp de două ore la un curent egal cu 1,2* I_n;
— *să declanșeze în două minute la un curent egal cu 1,5* I_n.

Pe diagrama din figura 18.13 aceste condiții se traduc prin faptul că se impune caracteristicii de funcționare a bimetalului să treacă printre punctele *I* și *II*, precum și prin stînga punctului *III*.

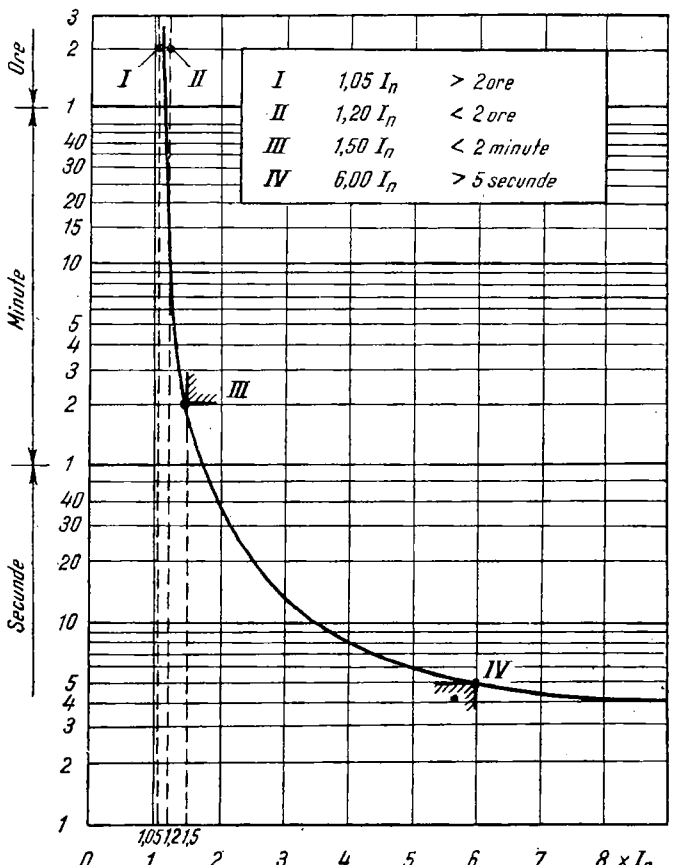


Fig. 18.13. Caracteristica de funcționare a unui releu cu bimetal.

Condițiile de reglare și funcționare a releelor termice indicate mai sus sînt în acord cu condițiile impuse de norme motoarelor electrice, norme care precizează că motoarele trebuie să poată suporta, pornind de la cald (funcționarea anterioară de regim), o suprasarcină de 1,5 I_n, timp de *2* min.

c. Întreținere și exploatare

Releele termice cu bimetal sînt aparate relativ robuste; dacă sînt ferite de acțiunea umezelii exagerate și a depunerilor de praf, nu necesită o întreținere deosebită. În exploatarea lor trebuie să se țină seama că:

— *bimetalul își îndeplinește funcția numai dacă este reglat cît mai aproape de curentul nominal al motorului protejat;* acest reglaj trebuie făcut la locul de montaj, de un personal competent, pe baza datelor de pe plăcuța indicatoare a motorului sau măsurînd direct curentul absorbit de motor în plină sarcină;

— pe cît posibil *releul termic trebuie amplasat în vecinătatea motorului* pe care îl protejează sau în aceeași cameră cu acesta, dar *ferit de surse străine de căldură;*

— *după scurtcircuite trebuie verificată starea bimetalelor și menținerea reglajului;* bimetalele puternic îndoite la trecerea unor curenți mari de scurtcircuit trebuie înlocuite.

d. Probleme de utilizare corectă a releelor termice cu bimetal

În alegerea și exploatarea releelor termice cu bimetal trebuie să se țină seama atît de *natura sarcinii,* cît și de particularități ale funcționării acestora: *frecvența de conectare permisă* și *durata pauzei de răcire.*

● **Frecvența de conectare permisă.** Bimetalele se încălzesc ceva mai repede decît motoarele pe care le protejează și, ca urmare, în cazul unor frecvențe de conectare mai ridicate, bimetalele se încălzesc puternic sub acțiunea curenților de pornire, fără a avea timp în pauza de curent să revină la temperatura mediului.

În felul acesta, cu fiecare nouă pornire temperatura bimetalelor crește și după un anumit timp releul deconectează, deși înfășurarea motorului nu a atins încă o temperatură periculoasă.

○○○ **Important.** Pentru aceste motive, asocierea contactelor cu relee termice nu se poate face *decît acolo unde frecvența de conectare este de cel mult 40 ... 60 conectări pe oră.* În cazul unor frecvențe de conectări mai mari, se recurge la alte metode de protecție.

● **Pauza de răcire.** Dacă contactorul a fost deconectat prin acțiunea releului său termic (declanșare la suprasarcină), este necesar ca, înainte de a comanda reanclanșarea contactorului, să se aștepte un timp suficient pentru ca bimetalele să se răcească; în caz contrar, sub acțiunea curentului de pornire se poate produce o nouă declanșare, nedorită, și o solicitare termică anormală a bimetalului.

Durata pauzei de răcire este de ordinul a 0,5 ... 5 min și este indicată de constructorul releului.

Este necesar, de asemenea, ca, în cazul în care contactorul a declanșat prin acțiunea releelor termice, înainte de a-l repune sub tensiune *să se determine cauza care a provocat suprasarcina și aceasta să fie înlăturată*. În acest scop majoritatea blocurilor cu relee termice cu bimetal sînt prevăzute cu o zăvorîre care trebuie înlăturată de un operator înainte de a reînchide circuitul.

● **Natura sarcinii.** Releele termice cu termobimetal sînt reglate în uzina producătoare conform diagramei din figura 18.13, care corespunde utilizărilor normale în ceea ce privește natura sarcinii și schema de conexiuni.

Există însă anumite situații particulare, în care acest reglaj nu mai corespunde. Aceste situații sînt, de exemplu:

— *pornire grea*, așa cum apare de exemplu la antrenarea morilor cu bile, a centrifugelor, a ventilatoarelor mari, a vinciurilor de ridicare la macarale etc.;

— *antrenarea motoarelor cu două turații;*

— *protecția motoarelor cu pornire în stea-triunghi;*

— *protecția motoarelor cu frecvență mare de conectare.*

În astfel de situații, releele termice de construcție normală nu mai dau satisfacție, fiind necesar să se recurgă la alte soluții, printre care și folosirea de sonde termometrice *(termistoare)* montate direct în înfășurările motorului.

3. PROTECȚIA LA SUPRASARCINĂ PRIN TERMISTOARE

Protecția prin relee termice cu bimetal realizate conform descrierilor de mai sus, se bazează pe deformarea unor lamele de bimetal încălzite fie direct de curentul absorbit de motor care le parcurge, sau de un curent proporțional cu acesta, fie indirect, prin radiație sau convecție (a se revedea capitolul 11 și fig. 11.3).

Acest principiu de funcționare are însă dezavantajul că deformarea bimetalelor nu reproduce întotdeauna fidel încălzirea motorului, putîndu-se ajunge fie la declanșări inutile, fie la temperaturi periculoase ale bobinajului.

● *O primă soluție* pentru îmbunătățirea acestei situații a fost realizarea unor **relee cu bimetal miniaturizate**, folosind de regulă bimetale „disc", care se montează direct în motor, atașîndu-se de capetele de bobină, cîte unul pentru fiecare fază.

Această soluție se mai folosește în prezent pentru protecția motoarelor de ascensor, la care frecvența mare de conectare împiedică utilizarea releelor termice obișnuite, și are avantajul de a urmări mult mai fidel temperatura reală a înfășurărilor motorului protejat.

● *O soluție îmbunătățită* o reprezintă înlocuirea releelor cu bimetal miniaturizate prin **relee cu semiconductoare de construcție specială** cu rezistența variabilă cu temperatura (pastile ceramice dopate cu tantal), care au proprietatea că la o anumită temperatură își măresc *brusc și foarte mult* rezistența la trecerea curentului electric, ceea ce echivalează practic cu deschiderea unui contact (fig. 18.14). Ele se realizează pentru diferite temperaturi nominale, și răspund într-o plajă foarte îngustă ($\pm$ 5°C) la creșterea de rezistență, constituind astfel o protecție mai bună a înfășurărilor.

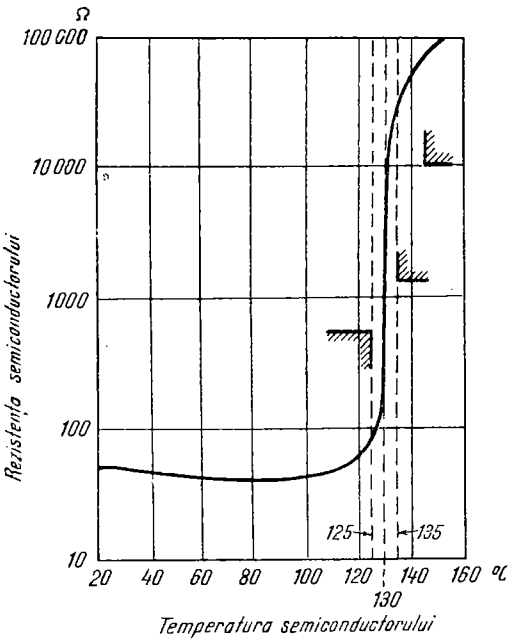


Fig. 18.14. Caracteristica de funcționare a unui semiconductor pentru protecția termică a înfășurărilor.

Termistoarele — cum sînt numite aceste semiconductoare cu rezistență variabilă cu temperatura — se livrează de întreprinderile producătoare de componente electronice și se montează în înfășurările motoarelor de către constructorul de motoare. Ele nu sînt deci produse ale fabricilor de aparataj electric.

• Termistorul acționează contactorul (întreruperea circuitului bobinei) *prin intermediul unui „releu intermediar"*, a cărui construcție nu se analizează aici.

• Costul încă ridicat și îndeosebi necesitatea de a îngloba termistoarele în înfășurările motorului încă la fabricarea acestuia, *limitează folosirea acestei soluții numai la cazurile în care releele termice cu bimetal nu se pot utiliza sau nu dau rezultate satisfăcătoare*, ca de exemplu:

— motoare de joasă tensiune cu pornire foarte grea;

— motoare de acționări cu schimbare rapidă și frecvență a sensului de rotație;

— motoare mari (cu curenți nominali peste 400 A);

— motoare cu frecvențe de conectare mari.

C. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE DE JOASĂ TENSIUNE

Spre deosebire de contactoare, **întreruptoarele automate** *se caracterizează prin faptul că, odată închise contactele principale, ele sînt menținute în poziția „închis" cu ajutorul unui* **zăvor mecanic** numit „broască"; acesta blochează la sfîrșitul cursei de închidere contactele mobile, asigurînd presiunea necesară în contacte, și le menține în această poziție un timp oricît de lung, fără vreun consum suplimentar de energie. Întreruptorul automat rămîne în această poziție pînă cînd, la comanda voită a unui operator sau la comanda automată a unui releu de protecție, se îndepărtează zăvorul mecanic, eliberînd contactele mobile, care se deschid cu mare viteză sub acțiunea unor resoarte puternice.

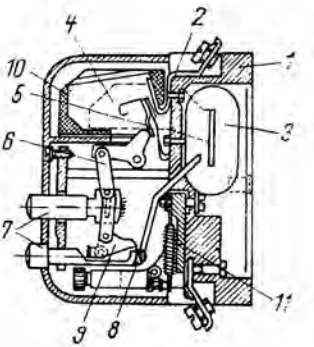


Fig. 18.15. Întreruptor automat tripolar de 20 A cu acționare prin buton:

1 — placă de bază; *2* — contact fix; *3* — bobină de suflaj magnetic; *4* — plăci de oțel pentru suflaj magnetic; *5* — contact mobil; *6, 8* și *9* — elemente ale mecanismului de zăvorîre; *7* — butoane de comandă; *10* — cameră de stingere; *11* — bimetal.

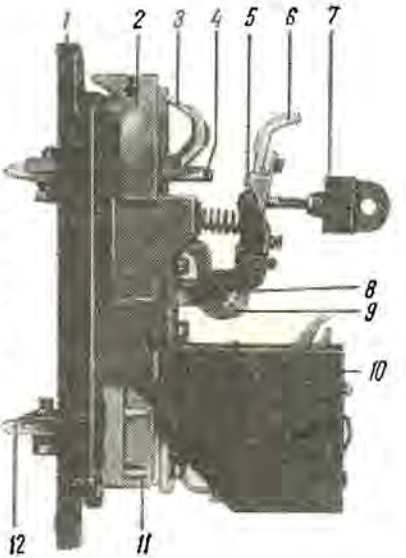


Fig. 18.16. Întreruptor automat tripolar de 600 V — 1 250 A acționat prin manetă — elemente componente (camera de stingere a fost scoasă pentru a se vedea contactele):

1 — placă de bază din fontă; *2* — suport izolant al sistemului de contacte; *3* — contact de rupere fix; *4* — contact principal (de lucru) fix; *5* — contact de lucru mobil; *6* — contact de rupere mobil; *7* — tijă de acționare a contactului mobil; *8* — ax de rotire a contactului mobil; *9* — legătură flexibilă; *10* — bloc cu relee (releu termic și electromagnetic); *11* — suport izolant al blocului cu relee; *12* — borne de legătură la circuitul exterior.

● **Închiderea** întreruptoarelor automate se poate realiza prin diferite metode, ca:

— *apăsare* — de către un operator — a *unui buton de închidere,* metodă folosită la aparatele de curenți nominali mici (fig. 18.15);

— *acționarea unei manete* (fig. 18.16);

— *folosirea unui electromagnet de acționare* (fig. 18.17);

— *folosirea unui dispozitiv de acționare cu acumulare de energie în resort* (fig. 18.18) și altele.

● **Avantaje.** Principiul menținerii în poziția „închis" prin intermediul unui mecanism cu zăvor, determină o serie de avantaje în ceea ce privește comportarea în serviciu a întreruptoarelor automate. Acestea sînt:

— *posibilitatea obținerii unor puteri de rupere importante,* prin folosirea unor resoarte de declanșare puternice. Viteza mare de deschidere, completată cu utilizarea unor dispozitive de suflaj magnetic și a unor camere de stingere

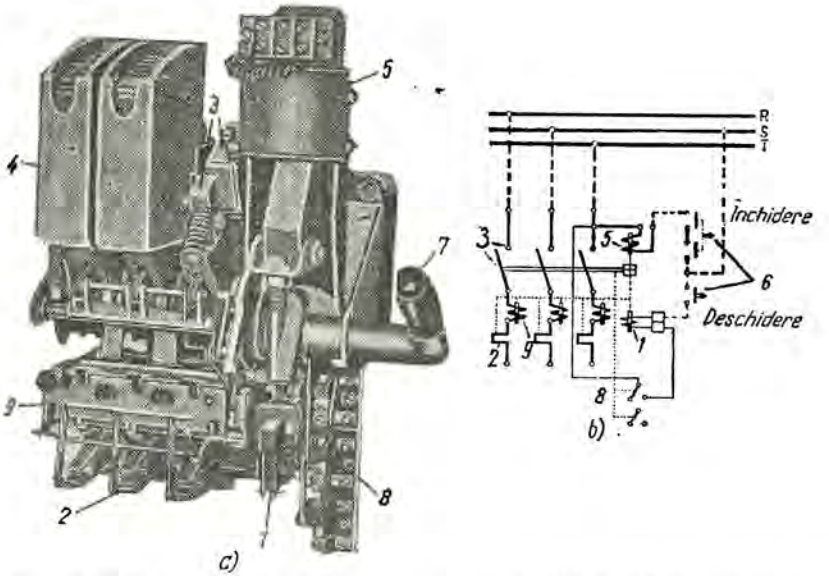


Fig. 18.17. Întreruptor automat tripolar în aer, de 100 A, 500 V, acționat prin electromagnet:

a — întreruptor (o cameră de stingere este scoasă, pentru a se vedea contactele); *b* — schema electrică a întreruptorului; *1* — bobină de declanșare; *2* — releu termic (bimetal); *3* — contacte; *4* — cameră de stingere; *5* — electromagnet de închidere; *6* — butoane de comandă; *7* — manetă de acționare; *8* — contacte auxiliare; *9* — relee electromagnetice pentru protecție la scurtcircuit.

bine studiate, permit realizarea unor puteri de rupere de ordinul a 5 ... 25 kA și chiar mai mult și, ca urmare, folosirea întreruptoarelor automate ca aparate de bază pentru protecția la scurtcircuite (nemaifiind nevoie de siguranțe fuzibile);

— *insensibilitate la variațiile de tensiune ale rețelei*, întreruptorul rămînînd închis chiar dacă tensiunea dispare complet;

— *posibilitatea realizării unor aparate de întrerupere pentru curenți mari*, pînă la 2 000 ... 3 000 A (se știe că realizarea contactoarelor este limitată la 200 ... 400 A);

— *posibilitatea de a dimensiona electromagnetul mai economic* — în cazul acționării prin electromagnet — dat fiind faptul că el se află sub tensiune numai o fracțiune de secundă, cît se produce închiderea;

— *rezistență mult mai mare la solicitări prin vibrații și șocuri mecanice.*

● **Dezavantaje.** Folosirea zăvorîrii mecanice are însă și neajunsuri, cele mai importante fiind:

— *frecvența de conectare permisă este foarte mică* (cel mult cîteva manevre pe zi), durata de viață fiind de ordinul zecilor de mii de acționări;

— *aparatul are o construcție complicată*, el fiind în consecință și foarte *costisitor.*

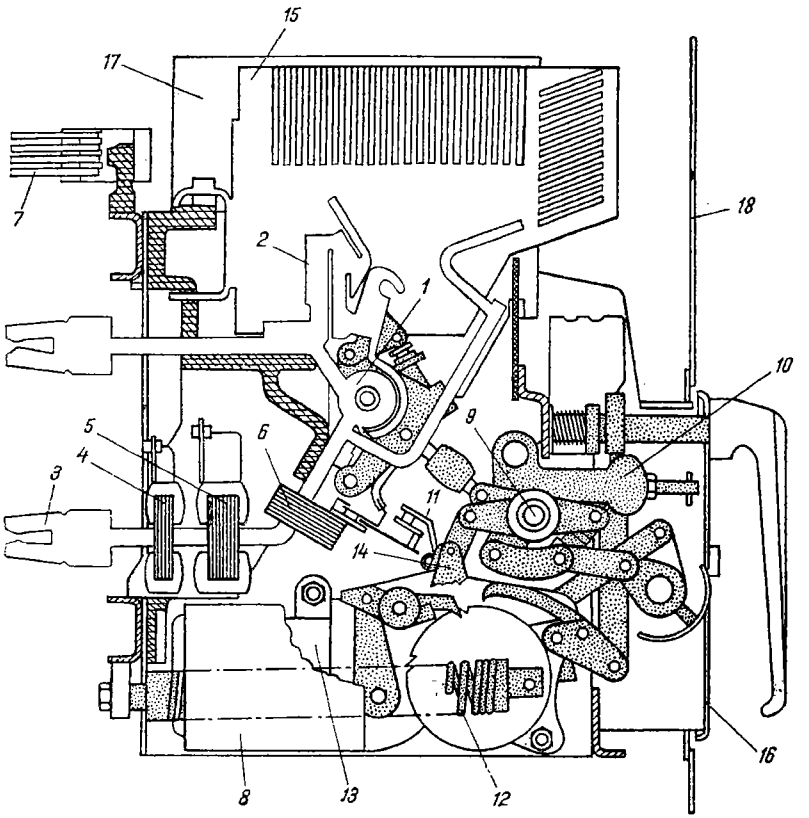


Fig. 18.18. Întreruptor automat cu acționare prin acumulare de energie în resort, de 2000 A, 500 V:

1 — contact principal; *2* — coarne de suflaj; *3* și *7* — furci de contact debroșabile, pentru conectarea la circuitul principal respectiv pentru legarea la masă; *4* — transformator de curent pentru alimentarea releelor termice; *5* — transformator de curent pentru alimentarea elementului de temporizare; *6* — bobina releului electromagnetic; *7*, *16* și *18* — panouri metalice de închidere; *9* — axul principal de acționare a contactelor mobile; *10*, *11* și *14* — elemente ale mecanismului de acționare; *12* — resortul de acumulare a energiei; *13* — motor electric de armare a resortului; *15* — cameră de stingere; *17* — ecran izolant între faze.

● **Utilizări.** Avînd în vedere calitățile și neajunsurile enumerate mai sus, întreruptoarele automate se folosesc îndeosebi în următoarele situații:

— *ca întreruptor principal* pentru protecția liniilor și a instalațiilor electrice (utilizare căreia îi corespunde o frecvență de conectare foarte redusă);

— *ca aparat normal de conectare și protecție al unor consumatori cărora le corespund curenții mari de serviciu și puteri de scurtcircuit importante;*

— *ca aparat normal de conectare acolo unde trebuie evitată deschiderea automată a aparatului la scăderea tensiunii sau la dispariția acesteia;*

— *ca aparat normal de conectare acolo unde acesta suportă vibrații și șocuri mecanice importante* (poduri rulante, mecanisme de ridicare etc.).

Dată fiind varietatea mare a domeniilor de utilizare, se întîlnește și o varietate a soluțiilor constructive de întreruptoare automate. Se pot distinge totuși cinci categorii de asemenea aparate, și anume:

- *întreruptoare automate monopolare;*
- *întreruptoare automate tripolare comandate prin buton;*
- *întreruptoare automate în construcție deschisă;*
- *întreruptoare automate capsulate;*
- *întreruptoare automate limitatoare.*

● **Întreruptoarele automate monopolare** (un exemplu este prezentat în fig. 18.19, *a*) sînt folosite îndeosebi pentru protejarea circuitelor de lumină din instalațiile electrice interioare. Se execută pentru intensități nominale cuprinse între 6 și 25 A și sînt comandate *numai manual* (asupra acestora se va reveni într-unul dintre capitolele următoare).

● **Întreruptoarele automate tripolare comandate prin buton** (fig. 18.19, *b*) se execută pentru intensități nominale de ordinul zecilor de amperi și servesc

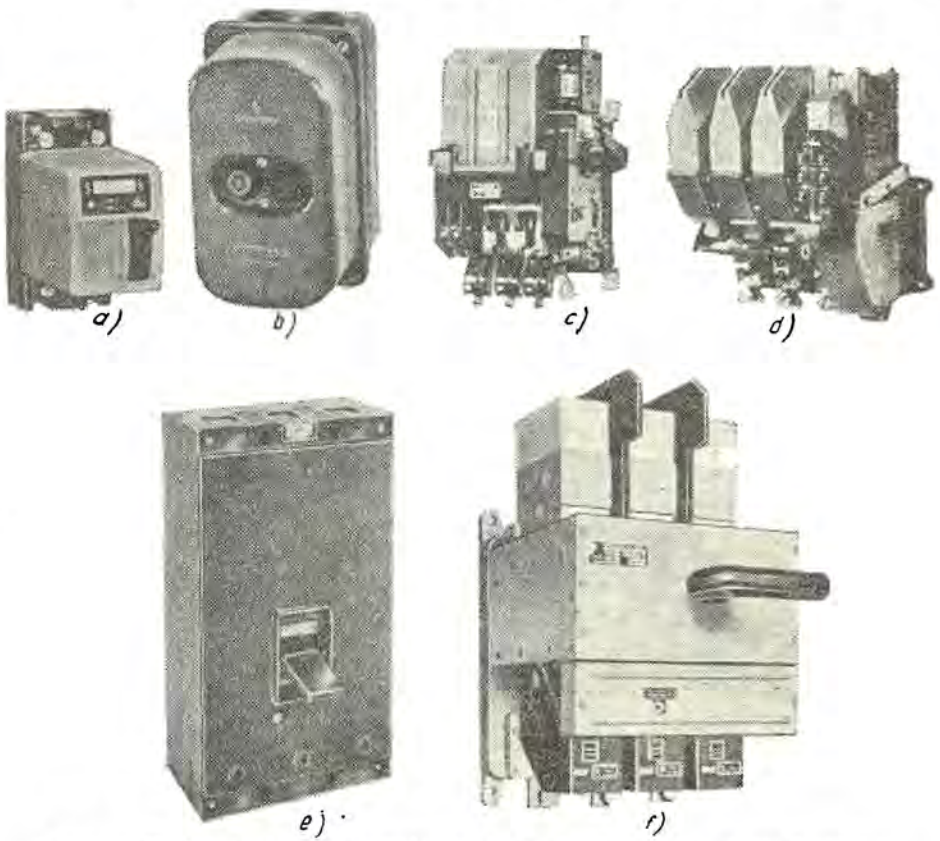


Fig. 18.19. Întreruptoare automate de joasă tensiune — tipuri constructive:
a — întreruptor monopolar de instalații; *b* — întreruptor tripolar cu acționare prin buton; *c* și *d* — întreruptoare tripolare în execuție deschisă (acționare manuală sau cu electromagnet); *e* — întreruptor automat capsulat într-o carcasă izolată; *f* — întreruptor automat limitator.

pentru comanda și protecția circuitelor de forță și lumină acolo *unde nu este necesară comanda de la distanță și nu este dorită deconectarea la scăderi temporare de tensiune.*

● **Întreruptoarele automate în construcție deschisă,** de tipul celor reprezentate în figurile 18.19, *c* și *d*, se construiesc pentru intensități nominale medii (sute de amperi), sînt *comandate atît manual cît și cu electromagneți* și sînt folosite îndeosebi *pentru protecția circuitelor principale ale alimentărilor cu energie din industrie* (sînt montate întotdeauna în celule sau panouri).

● **Întreruptoarele automate capsulate** într-o carcasă din masă plastică fenolică, de tipul celui reprezentat în figura 18.19, *e* (denumită și întreruptoare tip „compact"), se construiesc pentru intensități nominale de ordinul sutelor de amperi și sînt folosite îndeosebi *pentru protecția circuitelor electrice de pe nave sau în alte instalații industriale unde se impun dimensiuni reduse ale panourilor de distribuție a energiei electrice.*

● **Întreruptoarele automate limitatoare** (fig. 18.19, *f*) se construiesc pentru intensități nominale de ordinul miilor de amperi și au proprietatea că, în cazul apariției unor curenți de scurtcircuit în instalație, se deschid atît de repede și acționează atît de energic asupra arcului electric, încît curentul de scurtcircuit nu mai are timp să atingă valoarea de vîrf pe care ar fi atins-o în lipsa aparatului. Ele *pot limita* astfel *valoarea curentului de scurtcircuit* apărut în instalație, *reducînd mult solicitările termice și electrodinamice* la care este supusă instalația în acest caz (de aici le vine și numele de „întreruptoare limitatoare"). Pot fi *acționate manual sau cu servomotor.*

De la un tip la altul, întreruptoarele automate diferă de asemenea prin modul de acționare și prin gradul de echipare cu dispozitive accesorii, cum sînt: contacte de semnalizare, dispozitive de declanșare de la distanță, relee de tensiune, dispozitive de temporizare a declanșării prin relee etc.

În prezent, practic, toate întreruptoarele automate de joasă tensiune se execută ca aparate de întrerupere în aer.

2. ELEMENTE COMPONENTE

Oricare ar fi varianta constructivă de întreruptor automat, el este constituit din următoarele elemente principale:

— *circuitul principal de curent* format din: contacte principale, contacte de rupere, bobină de suflaj magnetic, coarne de suflaj și borne de racord la circuitul exterior, majoritatea realizate din profile de cupru electrolitic, protejate sau nu împotriva coroziunilor;

— *camerele de stingere a arcului electric;*

— *piesele izolante* pentru susținerea căilor de curent și separarea fazelor, realizate de obicei prin presare din rășini fenolice;

— *mecanismul de acționare și zăvorîre,* realizat din table și profile de oțel tratate în mod special pentru a face față uzurilor și coroziunilor;

— *cutia aparatului,* executată din tablă de oțel la aparatele mari și din rășini fenolice la aparatele mici și la întreruptoarele tip „compact" (fig. 18.19, *e*);

— *elementele de protecție* împotriva suprаintensităților (relee termice și electromagnetice);

— *elementele accesorii:* bobine de declanșare, relee, transformatoare de curent, contacte auxiliare etc.

D. ÎNTRERUPTOARE STEA-TRIUNGHI AUTOMATE, COMUTATOARE ŞI INVERSOARE AUTOMATE

În situaţiile în care este necesară comanda automată sau comanda de la distanţă a unor motoare care pornesc în stea-triunghi sau la care trebuie inversat sensul de rotaţie, aparatele descrise în capitolul 18. B şi D nu mai corespund şi se folosesc *întreruptoare stea-triunghi automate, inversoare de sens de mers automate* şi *comutatoare de poli automate.* Acestea sînt realizate prin *combinaţii de contactoare şi blocuri de relee de aceeaşi construcţie.*

1. ÎNTRERUPTOARELE STEA-TRIUNGHI AUTOMATE

Întreruptoarele stea-triunghi automate *servesc pentru comanda automată sau de la distanţă şi comutarea corectă, din stea în triunghi, a motoarelor asincrone mari cu rotorul în scurtcircuit, acolo unde condiţiile din reţea nu permit pornirea directă şi, în acelaşi timp, este necesară comanda automată sau de la distanţă a pornirii motorului.*

● **Construcţia.** Comutatoarele automate stea-triunghi sînt alcătuite (v. fig. 18.20) din:

— *un contactor automat cu relee,* de construcţie obişnuită (stînga);

— *un comutator* (dreapta) avînd contacte de lucru atît în poziţia „închis", cît şi în poziţia „deschis";

— *un releu de timp 6* (reglabil între cîteva secunde şi cîteva zeci de secunde), care comandă momentul trecerii de la conexiunea stea la conexiunea triunghi.

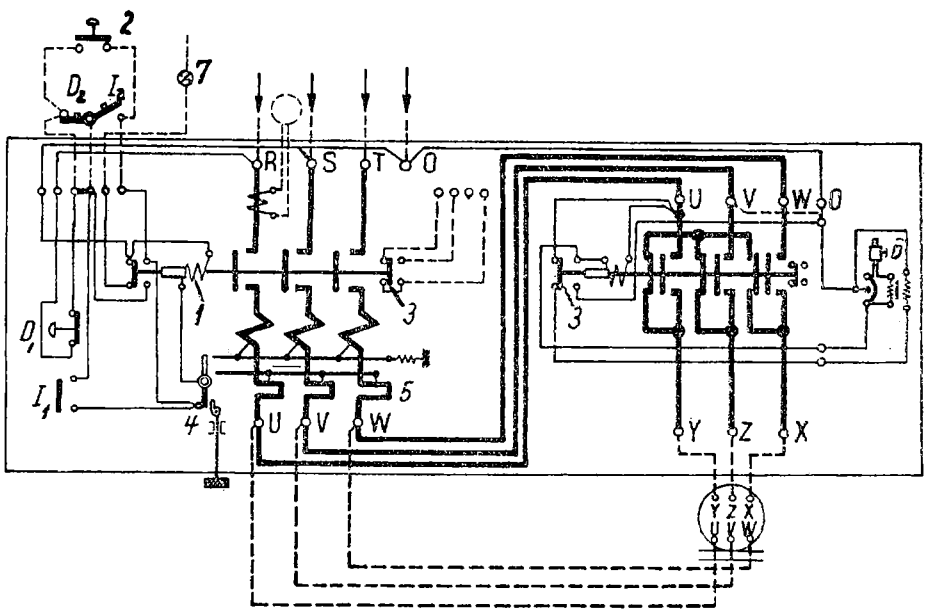


Fig. 18.20. Schema electrică a unui comutator stea-triunghi automat:
1 — electromagnet de închidere; *2* — buton de comandă la distanţă; *3* — contacte auxiliare; *4* — contact de blocare a comenzii după declanşare prin relee; *5* — bimetal; *6* — releu de timp; *7* — lampă de semnalizare.

Intrarea în funcțiune a unui comutator automat stea-triunghi se realizează cu ajutorul unui buton dublu pornire-oprire, comutarea din stea în triunghi făcîndu-se apoi automat.

● **Modul de funcționare.** În figura 18.20 este reprezentată schema electrică a unui comutator stea-triunghi automat.

Cînd comutatorul este deschis (motorul în stare de repaus), numai bornele *R*, *S* și *T* sînt racordate la rețea (se află sub tensiune). În acest caz, lampa de semnalizare *7* primește tensiunea de la borna *S*, prin intermediul unui contact auxiliar *3* al contactorului din stînga, și arată că motorul este oprit.

Închiderea (pornirea motorului în stea). Pentru a porni motorul se apasă pe butonul de comandă I_1 sau pe butonul de comandă la distanță I_2; în felul acesta bobina *1* a electromagnetului de acționare a contactorului din stînga este pusă sub tensiune, fiind alimentată prin circuitul: borna *R*, contactul de deschidere D_1 de pe aparat, contactul de comandă a pornirii I_1, contactul *4* de blocare * a comenzii, bobina *1* a electromagnetului de acționare, borna *S*. Avînd bobina *1* alimentată între fazele *R* și *S*, electromagnetul de acționare a contactorului din stînga determină închiderea acestuia din urmă, cu care ocazie se produc următoarele modificări:

— prin intermediul contactelor principale ale contactorului din stînga, bornele *U*, *V*, *W* ale motorului sînt puse sub tensiune;

— în acest timp, bornele *X*, *Y*, *Z* ale motorului sînt legate, prin contactele de repaus ale comutatorului din dreapta, în scurtcircuit;

— în acest fel, înfășurările motorului, conectat în stea prin contactele comutatorului, sînt puse sub tensiune și motorul pornește, absorbind de la rețea un curent relativ redus;

— închiderea contactorului din stînga determină întreruperea contactului auxiliar, care semnalizează poziția „deschis", și închiderea contactului de „autoreținere", care menține sub tensiune bobina *1* chiar după ce butonul I_1 se deschide.

Trecerea din stea în triunghi. Odată cu închiderea contactorului din stînga, sînt puse sub tensiune, prin intermediul unor conexiuni interne, bornele *U*, *V*, *W* ale comutatorului din dreapta. În această situație, releul de timp *6* este alimentat între faza *U* și borna *O* a comutatorului (alimentare între fază și neutru), prin intermediul contactului auxiliar de repaus *3* al comutatorului și înfășurarea transformatorului de încălzire a releului *6*. În secundarul transformatorului de încălzire a releului *6* se află un bimetal care, după un anumit timp, reglabil în funcție de condițiile specifice de pornire, închide brusc contactul de alimentare a bobinei de acționare a comutatorului din dreapta. Se stabilește astfel circuitul: borna *U* a comutatorului, bobina de acționare a comutatorului, bimetalul releului *6*, borna *W*. Avînd bobina sub tensiune, între fazele *U* și *V*, electromagnetul comutatorului din dreapta determină închiderea acestuia.

Prin închiderea comutatorului, bornele motorului sînt astfel legate încît fazele sînt conectate în triunghi (fiind stabilite legăturile U — y; V — z; W — x).

Protecția. Dacă, în timpul funcționării, motorul este supraîncărcat, releele termice *5* determină deschiderea contactului *4* și întreruperea alimentării

* Rolul acestuia va fi indicat în cele ce urmează.

bobinei *1*. Prin aceasta, sub acțiunea arcurilor antagoniste, contactul din stînga se deschide întrerupînd alimentarea motorului. În același timp, deschiderea contactorului din stînga scoate de sub tensiune bobina de acționare a comutatorului din dreapta, provocînd deschiderea acestuia, astfel încît aparatul este pregătit pentru o nouă pornire. În mod similar, se produce deconectarea motorului, prin acțiunea releelor electromagnetice de protecție, în cazul apariției unui scurtcircuit în motor sau în circuitul de alimentare a acestuia.

Așa cum rezultă din figura 18.20, contactul *4* este prevăzut cu o blocare mecanică, al cărei rol este de a împiedica pornirea automată sau de la distanță a motorului, în cazul în care deconectarea s-a realizat prin acțiunea releelor de protecție. Motorul nu va putea porni din nou decît după ce personalul de supraveghere a eliberat zăvorul mecanic. Se urmărește prin aceasta să se atragă atenția personalului de exploatare că în instalație s-a petrecut ceva anormal și să se evite închiderea pe defect.

Întreruperea voită (oprirea motorului). Prin apăsare pe butonul de deschidere *D* sau pe butonul de comandă la distanță a deschiderii D_2, se întrerupe circuitul de alimentare a bobinei contactorului, ceea ce provoacă deschiderea întregului comutator.

2. INVERSOARELE DE SENS AUTOMATE

Inversoarele de sens automate *servesc pentru a comanda, automat sau de la distanță, pornirea și sensul de rotație al unui motor electric.*

● **Construcția.** Sînt formate din *două contactoare de construcție identică*, plasate în aceeași cuvă (carcasă) și *blocate electric între ele* prin intermediul contactelor auxiliare. Fiecare contactor corespunde unui sens de rotire a motorului.

Pentru comanda unui inversor de sens sînt necesare trei butoane: „pornire stînga", „oprire", „pornire dreapta", sau: „urcare", „oprire", „coborîre" (în cazul unui motor de ascensor sau folosit pe o mașină de ridicat).

● **Modul de funcționare.** Schema legăturilor electrice dintre cele trei butoane de comandă este astfel realizată încît:

— *în cazul cînd ambele contactoare sînt deschise* (motorul este oprit) se poate comanda, după voie, pornirea motorului într-un sens sau în celălalt;

— *în momentul în care se apasă pe unul dintre butoanele de pornire* (de exemplu „pornire dreaptă" sau „urcare"), este pusă sub tensiune numai bobina contactorului care leagă fazele motorului la rețea, astfel încît motorul pornind, să se rotească în sensul dorit;*

● **Observație.** Cînd motorul funcționează rotindu-se într-unul dintre sensuri, nu se poate comanda direct funcționarea în sens contrar, deoarece aceasta ar provoca supracurenți mari, care pot periclita buna funcționare a motorului și a instalației. Pentru acest motiv, închiderea contactorului care comandă pornirea motorului într-unul dintre sensuri, întrerupe totodată (prin deschiderea unui contact auxiliar) circuitul de alimentare al bobinei celuilalt contactor, astfel încît chiar dacă din greșeală, în timpul funcționării motorului, se apasă pe butonul care comandă funcționarea în celălalt sens, această comandă este ineficace.

* Se reamintește că sensul de rotație al unui motor asincron depinde de felul în care sînt legate bornele sale la cele trei faze ale rețelei, și că, pentru a se schimba sensul de rotație al motorului, este suficient să se inverseze două faze între ele.

— *pentru a se schimba sensul de rotație al motorului* este necesar a se comanda mai întîi, prin butonul respectiv, oprirea motorului. În acest fel, se întrerupe alimentarea bobinelor ambelor contactoare, astfel încît, oricare ar fi sensul de rotație, motorul se oprește;

— *în cazul în care motorul este protejat prin relee de protecție* (la suprasarcină sau la scurtcircuit), deși sînt două contactoare, se prevede un singur rînd de relee, care, în caz de funcționare anormală, determină oprirea motorului prin deschiderea unui contact aflat în serie cu butonul de oprire.

3. COMUTATOARELE AUTOMATE DE NUMĂR DE POLI

Comutatoarele automate de număr de poli *servesc pentru modificarea prin comandă automată sau de la distanță, a vitezei de rotație a unui motor sincron prevăzut cu un număr variabil de poli.*

● **Construcție.** Aceste aparate sînt formate din *trei sau mai multe contactoare de construcție identică*, amplasate în aceeași cuvă și conectate între ele în mod corespunzător, astfel încît să se asigure succesiunea dorită a fazelor de pornire și blocajele necesare împotriva comenzilor greșite.

Comutatoarele automate de număr de poli sînt comandate de la distanță tot prin butoane de comandă, dintre care unul servește pentru oprirea motorului, indiferent de regimul de turație în care se află, iar celelalte comandă funcționarea la una din turații.

Protecția împotriva suprasarcinilor și a scurtcircuitelor este asigurată de obicei de un singur bloc de relee.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt deosebirile dintre „contactoare", „contactoare cu relee" și „întreruptoare automate"?

2 — Care sînt domeniile de utilizare ale contactoarelor în ulei?

Capitolul 19

APARATE AUXILIARE PENTRU ACȚIONĂRI INDUSTRIALE ȘI AUTOMATIZĂRI

● A. BUTOANE DE COMANDĂ ● B. CHEI DE COMANDĂ ● C. LĂMPI ȘI CASETE DE SEMNALIZARE ● D. ÎNTRERUPTOARE DE SFÎRȘIT DE CURSĂ (LIMITATOARE DE CURSĂ) ● E. MICROÎNTRERUPTOARE ● F. ÎNTRERUPTOARE TRESTIE ● RELEE INTERMEDIARE

În cazul folosirii contactoarelor comandate de la distanță, este nevoie de anumite **elemente de comandă, care să îndeplinească rolul de a închide sau deschide circuitul bobinei contactorului.** Dintre aparatele de comandă a contactoarelor, cele mai folosite sînt: *butoanele de comandă, cheile de comandă, întreruptoarele de sfîrșit de cursă* (limitatoare) și *microîntreruptoarele.*

În același timp, în cazul comenzii de la distanță, prin contactoare, a motoarelor electrice sau a altor consumatori, apare **necesitatea semnalizării, la locul de comandă, a situației** în care se află contactorul și, în general, a situației din circuitul comandat. Această semnalizare se execută cu ajutorul *lămpilor de semnalizare* și a *casetelor de semnalizare.*

În cele ce urmează, se prezintă cîteva dintre aceste aparate de comandă și semnalizare, folosite în instalațiile electrice industriale.

A. BUTOANE DE COMANDĂ

Butoanele de comandă *servesc* în special *pentru comanda voită de la distanță a contactoarelor,* fiind folosite îndeosebi pe mașini-unelte, ascensoare, mașini de ridicat, pupitre de comandă etc.

Rolul butonului de comandă este de a închide sau de a întrerupe un circuit electric (de exemplu butonul care comandă pornirea unui motor închide circuitul de alimentare a bobinei, în timp ce butonul care comandă oprirea motorului, deschide acest circuit).

Același buton de comandă poate fi însă prevăzut cu mai multe contacte, astfel încît, printr-o singură apăsare, să comande mai multe circuite, pe unele închizîndu-le și pe altele deschizîndu-le (de exemplu în figura 19.1 fiecare buton poate comanda simultan două circuite).

1. CARACTERISTICI TEHNICE

Butoanele de comandă sînt *acționate numai manual.* Ele au *o singură poziție stabilă,* la care revin îndată ce butonul nu mai este acționat; de aceea, prin butoanele de comandă se dau numai comenzi de scurtă durată (contactoarele au un contact de autoreținere care, o dată contactorul închis, asigură alimentarea bobinei chiar dacă încetează apăsarea pe butonul de comandă a închiderii).

Curenții nominali sînt *de obicei 6 A* (rar 10 A) *în curent alternativ* și *1,5 ... ... 2 A în curent continuu* (se folosesc aceleași butoane de comandă atît în curent continuu, cît și în curent alternativ, cu deosebirea că în curent continuu valorile curenților care pot fi întrerupți sînt mai mici).

Tensiunile nominale sînt *220 V în curent alternativ* și *220 V și 440 V în curent continuu.*

Frecvența de conectare admisă pentru butoanele de comandă nu depășește *600 de conectări pe oră,* iar numărul total de conectări pe care îl poate efectua un astfel de buton poate ajunge la 10 milioane de conectări.

2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

● **Din punctul de vedere al numărului de butoane grupate pe aceeași placă,** se deosebesc:

• *butoane de comandă simple* (*1,* fig. 19.1), folosite pentru închiderea sau deschiderea unui circuit de comandă sau de semnalizare;

• *butoane de comandă duble* (*2,* fig. 19.1), folosite îndeosebi pentru comanda la distanță a motoarelor electrice normale, unul dintre butoane (notat cu *I*) servind pentru pornirea motorului, iar celălalt (notat cu *O*) — pentru oprirea acestuia;

• *butoane de comandă triple* (*3,* fig. 19.1), folosite îndeosebi în circuitele de comandă a motoarelor cu două sensuri de rotație sau a agregatelor de ridicat. În acest caz, unul dintre butoane servește, de exemplu, pentru „pornire stînga" sau deplasare „în sus", altul — pentru „pornire dreapta" sau deplasare „în jos", iar cel din mijloc servește pentru oprirea motorului, oricare ar fi sensul de rotație;

• *butoane de comandă multiple,* folosite pentru unele comenzi mai complexe (la ascensoare, mașini-unelte etc.).

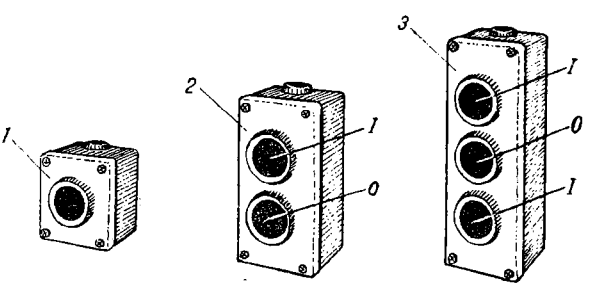


Fig. 19.1. Butoane de comandă — tipuri constructive:
1 — buton de comandă simplu în execuție neprotejată; *2* — buton de comandă dublu, protejat în carcasă metalică; *3* — buton de comandă triplu, protejat în carcasă metalică.

● **Din punctul de vedere al protecției butonului față de mediul exterior,** se deosebesc următoarele tipuri de butoane de comandă:

• *neprotejate,* pentru montare în panouri sau în tablouri de comandă;

• *protejate în carcasă metalică* de fontă, de aliaj de aluminiu (silumin) sau de tablă de oțel;

• *protejate în carcasă din material plastic;*

• *în execuție etanșă la praf sau la apă;*

• *în execuție antigrizutoasă sau antiexplozivă* (asupra acestor protecții se va reveni cu detalii în capitolele următoare).

Butoanele de comandă cu carcasă metalică sînt prevăzute, de obicei, și cu un șurub pentru legare la pămînt.

3. MĂSURI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA ACȚIONĂRII GREȘITE A BUTOANELOR

Acționarea unui buton de comandă reprezintă o acțiune importantă, de răspundere deoarece ea se traduce de obicei prin punerea sub tensiune a unui circuit și, foarte adesea, prin punerea în funcțiune a unei mașini.

○○○ **Atenție!** *Acționarea eronată a unui buton de comandă poate deci provoca accidente grave sau pagube materiale.*

Pentru acest motiv, se iau măsuri speciale de protecție care:

— *să împiedice acționarea greșită sau accidentală a unui buton de punere sub tensiune a unui circuit* (buton de pornire);

— *să favorizeze identificarea și acționarea rapidă a butoanelor de scoatere de sub tensiune a circuitelor* (butoane de oprire).

Printre aceste măsuri de protecție, mai importante sînt: *marcarea,* prin culori sau prin litere și *realizarea unor construcții de forme adecvate.*

● **Marcarea prin culori** (folosirea unui cod de culori). De obicei, butoanele de comandă sînt colorate după un anumit cod, care urmează să fie standardizat. De exemplu:

— *roșu* indică butonul de pornire, respectiv de punere sub tensiune a circuitului;

— *verde* indică butonul de oprire, respectiv de scoatere de sub tensiune a circuitului.

● **Marcarea prin litere.** Mai frecvent se utilizează marcarea prin litere, și anume:

— *litera I* indică butonul de închidere a circuitului, deci pornirea motorului sau punerea sub tensiune a unui circuit,

— *litera O* indică butonul de deschidere a circuitului comandat, deci oprirea sau scoaterea de sub tensiune a unui circuit.

○ Numeroși producători folosesc concomitent marcarea prin culori și marcarea prin litere.

● **Măsurile constructive** sînt destinate să împiedice acționarea neintenționată a butoanelor de pornire și să favorizeze găsirea ușoară și acționarea *cu orice parte a corpului* a butoanelor de oprire.

Există o varietate constructivă foarte mare de butoane de comandă, printre care se pot menționa butoanele prevăzute cu o mică lampă de semnalizare, sau butoanele care, odată apăsate rămîn conectate, deci asigură ele

singure menținerea circuitului în situația comandată, deconectarea făcîndu-se cu ajutorul unui mic electromagnet atașat butonului de comandă (fig. 19.2).

În cele ce urmează se vor prezenta cîteva exemple.

Realizarea butonului de întrerupere generală a funcționării unei mașini-unelte în formă de „ciupercă" de dimensiune mare și aparent. În acest fel, în caz de pericol sau de accident, întreruptorul poate fi comandat de operator cu orice parte a corpului și poate fi repede identificat de alte persoane care ar fi în măsură să intervină (fig. 19.3, *a*).

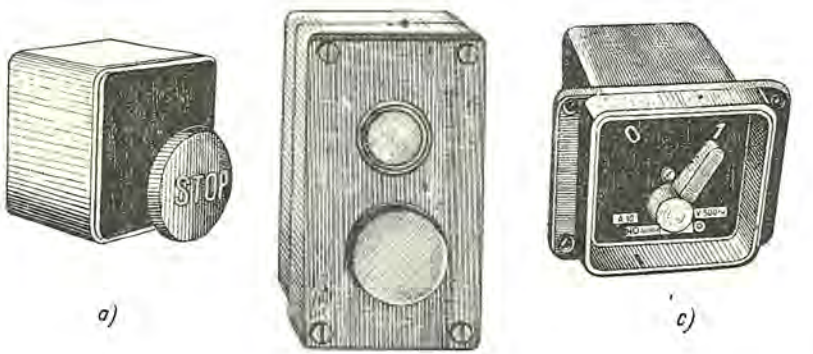
Fig. 19.2. Buton de comandă tip întreruptor (cu două poziții stabile) prevăzut cu lampă de semnalizare și electromagnet de deschidere de la distanță.

Amplasarea butonului de comandă a pornirii fie îngropat în capac (fig. 19.3, *b*), *fie protejat cu un guler de protecție* (fig. 19.3, *c*). Astfel, se reduce pericolul de acționare involuntară a acestuia.

Echiparea aparatului de comandă cu un dispozitiv de blocare cu lacăt (fig. 19.4, *c*). Astfel, punerea sau scoaterea de sub tensiune a anumitor circuite nu se poate face decît voit și numai de către persoana autorizată să efectueze această operație.

B. CHEI DE COMANDĂ

Cheile de comandă sînt aparate care *servesc numai la conectarea circuitelor de comandă.*



a) *b)* *c)*

Fig. 19.3. Butoane și chei de comandă în execuție orientată spre o mai bună protecție a muncii:

a — buton general de oprire tip „ciupercă"; *b* — buton dublu de comandă, avînd butonul de pornire îngropat și cel de oprire „aparent" tip „ciupercă"; *c* — cheie de comandă cu guler de protecție împotriva manevrărilor involuntare.

1. CARACTERISTICI TEHNICE

Cheile de comandă (fig. 19.3, *c* și 19.4) se aseamănă, constructiv, foarte mult cu întreruptoarele-pachet (v. cap. 16), deosebindu-se de acestea mai ales prin faptul că au curentul nominal mult mai mic (2 ... 6 A) și puterea de rupere micșorată corespunzător, astfel încît *nu pot servi direct ca aparate de conectare a unor circuite de putere, ci numai ca aparate de conectare a circuitelor de comandă*, îndeplinind aceeași funcție ca butoanele de comandă.

Cheile de comandă se mai aseamănă cu butoanele de comandă și prin faptul că și în acest caz *comanda se execută în mod voit*, de către un operator. Se deosebesc de acestea prin faptul că, în general, cheile de comandă *au două poziții de lucru stabile, contactul fiind permanent* și nu pasager, ca la butoanele de comandă.

Unele variante constructive pot realiza, în locul celor două poziții, un contact permanent și o poziție cu contact de scurtă durată, iar altele au inclus în butonul de acționare și o lampă de semnalizare (fig. 19.4, *b*).

O altă deosebire față de butoanele de comandă, este aceea că în timp ce butoanele de comandă stabilesc de obicei * un singur circuit, cheile de comandă *pot închide concomitent mai multe circuite* (de comandă, de semnalizare, de zăvorîre etc.).

2. DOMENIUL DE UTILIZARE

Cheile de comandă sînt folosite îndeosebi pentru comanda circuitelor secundare ale aparatelor de înaltă tensiune (întreruptoare-separatoare), stabilind legăturile electrice corespunzătoare aparatului „închis" sau „deschis".

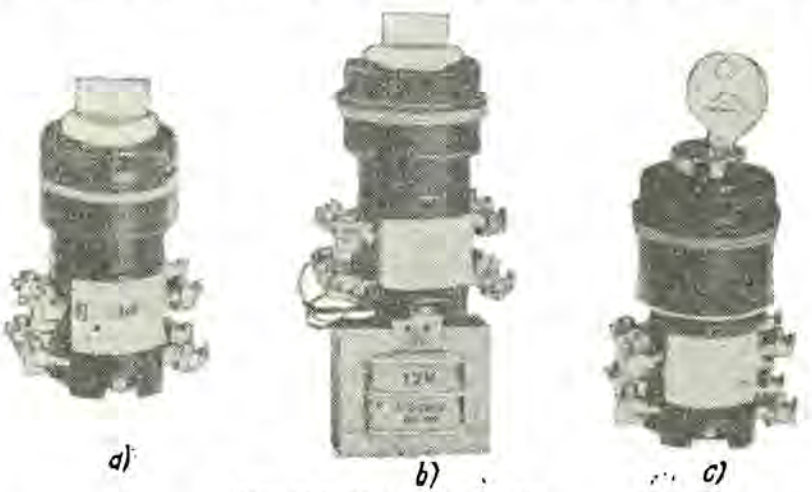


Fig. 19.4. Chei de comandă:
a — construcție normală; *b* — cu lampă de semnalizare și transformator de alimentare a lămpii; *c* — cu lacăt și cheie de blocare.

* Există și butoane de comandă care pot comanda concomitent mai multe circuite (de obicei de semnalizare), precum și butoane cu două poziții stabile, dar acestea constituie soluții mai rar întîlnite.

C. LĂMPI ŞI CASETE DE SEMNALIZARE

Lămpile de semnalizare (fig. 19.5) *servesc pentru semnalizarea luminoasă,* pe panouri şi pupitre de comandă, *a poziţiei aparatelor mai importante de conectare sau pentru a indica anumite situaţii normale sau anormale din instalaţia supravegheată.*

Casetele de semnalizare sînt tot *lămpi de semnalizare, avînd cutia de dimensiuni mai mari şi o placă frontală din sticlă opacă pe care se pot aplica anumite inscripţii,* în scopul de a uşura supravegherea regimului de funcţionare a instalaţiei.

D. ÎNTRERUPTOARE DE SFÎRŞIT DE CURSĂ (LIMITATOARE DE CURSĂ)

Limitatoarele de cursă sînt *aparate de conectare care întrerup sau stabilesc circuite sub acţiunea unui element mecanic al instalaţiei, aflat în mişcare.*

Astfel, în instalaţiile cu piese în mişcare, acţionate electric, cum sînt: maşini-unelte, poduri rulante, ascensoare, instalaţii de ridicat, maşini de ambalat etc., apare în mod frecvent necesitatea fie de a întrerupe automat acţionarea întregii instalaţii, cînd cursa organelor în mişcare a depăşit zona de deplasare permisă, fie de a comanda o anumită succesiune de operaţii, în funcţie de poziţia unor piese în mişcare. De exemplu:

— la podurile rulante este necesar să se oprească automat acţionarea podului, în cazul în care, din cauza unui defect sau din neatenţia manipulantului,

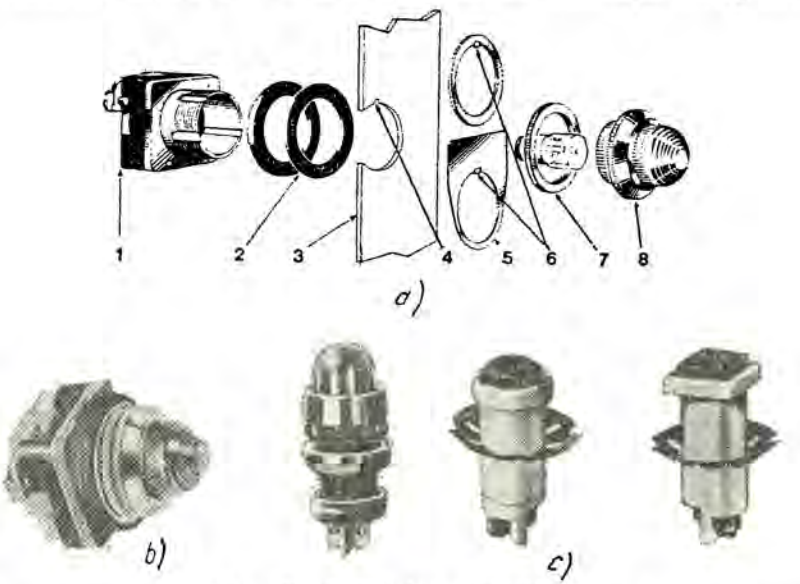


Fig. 19.5. Lămpi de semnalizare:

a — elemente componente *1* — elementul de bază cu bornele de racord la reţea şi dulia lămpii; *2* — inele de etanşare; *3* — panoul în care se fixează lampa; *4* — decupaj pentru poziţionare; *5* — etichetă cu funcţie de rondelă de centraj; *6* — bosaje de poziţionare; *7* — inel de etanşare şi bec de semnalizare; *8* — difuzor cu inele de strîngere); *b* — aceeaşi lampă asamblată; *c* — diferite alte soluţii constructive.

podul se apropie prea mult de marginea căii de rulare, riscînd să lovească anumite obiecte aflate în această zonă;

— la ascensoare este, de asemenea, necesar să se oprească automat motorul de antrenare a cabinei, atunci cînd, datorită unui defect de instalație, cabina urcă depășind ușa ultimului etaj sau coboară sub nivelul celei mai de jos uși;

— la mașini-unelte de tipul rabotezelor este necesar să se comande automat la capătul fiecărei curse, inversarea sensului de mers al mesei port-cuțit.

În multe utilizări, comanda automată a opririi motorului de antrenare, respectiv inversarea sensului de rotație a acestuia sau declanșarea într-o anumită succesiune a unui lanț de operații, acționate electric, se realizează cu aparate întreruptoare numite *limitatoare de cursă*.

1. CARACTERISTICI TEHNICE

Spre deosebire de butoane și de chei de comandă, care pot fi acționate numai manual, limitatoarele de cursă sînt prin excelență aparate care *realizează comenzi automate sub acțiunea unui element mecanic din instalație*. Ele pot fi utilizate numai în anumite condiții, deoarece prezintă, după cum se va vedea, o serie de neajunsuri. Astfel, *viteza de deplasare a contactelor mobile* este direct legată de cea a organului exterior de comandă, putîndu-se ajunge, în cazul unor organe de comandă cu deplasare lentă (cu acționare prin came) sau a unor organe care urmăresc variații de nivel, de presiune sau de temperatură, ca închiderea și deschiderea contactelor să se facă foarte lent și nesigur, cu dese reveniri de la un sens de deplasare la altul. Acest lucru nu numai că duce la o uzură relativ mare a contactelor întreruptorului de fine de cursă, dar poate crea o uzură exagerată a contactelor și deteriorarea contactorului comandat, deoarece, contactoarele fiind acționate prin electromagneți, sînt foarte sensibile la fenomenele care se petrec în circuitul lor de comandă și necesită, pentru a lucra corect, închideri și deschideri bruște și nete ale circuitului de comandă.

Pentru a se înlătura inconvenientul deplasării lente a contactelor mobile și în scopul obținerii unei puteri de rupere și a unei durate de viață satisfăcătoare, a trebuit ca întreruptoarele limitatoare de cursă să fie dimensionate foarte larg, rezultînd aparate de *gabarit mare*, deși performanțele obținute sînt modeste.

2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Revenind la exemplul limitatorului de cursă care oprește automat deplasarea peste anumite limite a unui pod rulant, se constată că pentru realizarea acestei comenzi se pot folosi două tipuri de limitatoare de cursă: *limitatoare de cursă directe* și *limitatoare de cursă indirecte*.

● **Limitatoarele de cursă directe** întrerup însuși curentul de alimentare a motorului care antrenează podul (fig. 19.6).

Limitatoarele de cursă directe se execută ca aparate de întrerupere *în aer* (v. fig. 19.6) sau *în ulei* (fig. 19.8), pentru curenți nominali cuprinși între 25 și 100 A (rar 200 A) și tensiune nominală de 500 V. Aceste limitatoare

sînt din ce în ce mai puțin folosite, fiind înlocuite prin limitatoare de cursă indirecte.

În figura 19.8 este reprezentat un limitator de cursă direct, avînd contactele în ulei. Această execuție este folosită numai în medii industriale cu foarte mult praf sau vapori corosivi și în atmosferă de gaze explozive. Frecvența de conectare admisă este însă foarte mică, aparatul putînd servi numai în circuite de siguranță, nu și acolo unde condițiile de serviciu impun un număr mare de conectări.

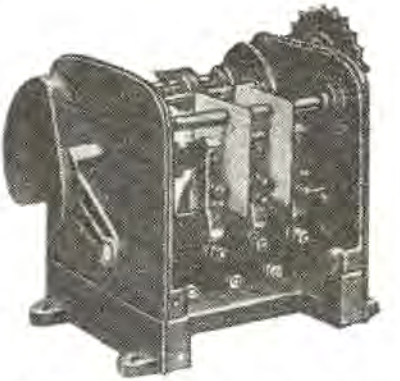


Fig. 19.6. Limitator de cursă direct. Construcția tripolară în aer, tip tambur, acționat prin lanț și roată dințată, de 60 A — 500 V.

● **Limitatoarele de cursă indirecte** întrerup numai curentul de alimentare al bobinei unui contactor, care la rîndul său realizează întreruperea alimentării cu energie a motorului (fig. 19.7 și 19.9).

Limitatoarele de cursă indirecte se execută *numai* ca aparate de întrerupere *în aer*, fiind cel mai adesea dimensionate pentru 6 A și cel mult 10 A, la 330 V și 500 V. Ele se construiesc pentru frecvențe mari de conectare (600—1 000 de conectări pe oră), dar au o putere de rupere mică.

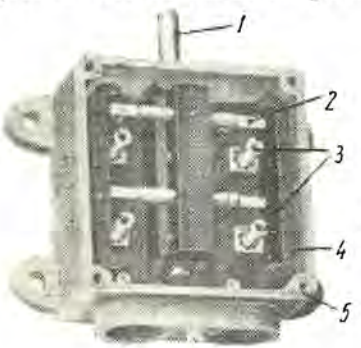


Fig. 19.7. Limitator de cursă indirect (2 A — 500 V):
1 — tijă de acționare a contactelor mobile; *2* — contacte mobile; *3* — contacte fixe; *4* — suport izolant; *5* — carcasă de silumin.

Fig. 19.8. Limitator de cursă direct (25 A — 500 V), construcție în ulei.

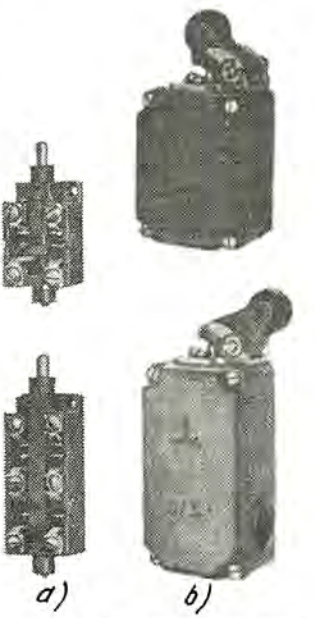


Fig. 19.9. Limitatoare de cursă indirecte (10 A, 500 V):
a — elemente de contact; *b* — aceleași elemente introduse în carcase de protecție prevăzute cu sisteme diferite de acționare.

E. MICROÎNTRERUPTOARE

Dezvoltarea din ce în ce mai largă a utilizării contactoarelor, legată de extinderea mecanizărilor și comenzilor la distanță, au făcut să crească foarte mult necesarul de aparate de comandă, îndeosebi a celor acționate mecanic (prin intermediul unor came sau a altor elemente în mișcare), care să determine închiderea și deschiderea în mod automat a contactoarelor, în funcție de programul de comandă, acționare sau protecție prevăzut.

1. CARACTERISTICI TEHNICE

Microîntreruptoarele sînt caracterizate prin:

— *întrerupere bruscă*, indiferent de viteza de deplasare a organului de acționare;

— *funcționarea foarte precisă* (comutarea contactelor dintr-o poziție în alta se face la o anumită poziție foarte bine definită, a elementului de acționare);

— *efort mic* (de la cîteva grame-forță la cîteva sute de grame-forță) și *cursă foarte redusă* (fracțiune de milimetru) a elementului de acționare, pentru a determina schimbarea poziției contactelor;

— *dimensiuni reduse;*

— *frecvență mare de conectare* (de ordinul a cîtorva mii de conectări pe oră) și *durată de serviciu foarte mare* (de ordinul a 10 milioane de manevre);

— *curenți nominali de ordinul a 6 ... 10 A în curent alternativ și a 0,5 ... 2 A în curent continuu* (în curent continuu se folosesc aceleași microîntreruptoare ca și în curent alternativ, dar pentru parametri nominali mult mai reduși).

2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Problema esențială în realizarea unui microîntreruptor este aceea de a se realiza un mecanism compact și robust, care să realizeze transformarea acțiunii lente a organului de comandă într-o acțiune bruscă și netă de schimbare a poziției contactelor.

În acest scop, toate soluțiile realizate pînă în prezent folosesc un mecanism cu element elastic (resort spiral sau resort plan) care preia pînă la un anumit moment efortul și deformarea impusă de organul de acționare, pentru ca, după depășirea unui „punct mort", să determine deplasarea bruscă a contactelor mobile dintr-o poziție stabilă în alta.

În cele ce urmează se vor descrie cîteva din soluțiile constructive.

● **Microîntreruptor cu lamelă elastică în „T".** Într-o carcasă de bachelită (fig. 19.10, *a*) se află o lamelă elastică plană din bronz cu beriliu, avînd trei brațe, în formă de T (fig. 19.10, *c*). Brațul lung A al acesteia este fixat la borna D, în timp ce brațele mai scurte B sînt ușor comprimate în punctul de articulație C, formînd din această cauză o ușoară curbură și sprijinindu-se prin intermediul contactului mobil H, pe unul din contactele fixe E sau F.

În mod normal, adică *atunci cînd asupra știftului G nu se exercită nici un efort*, lamela flexibilă se sprijină, prin intermediul contactului mobil H, pe

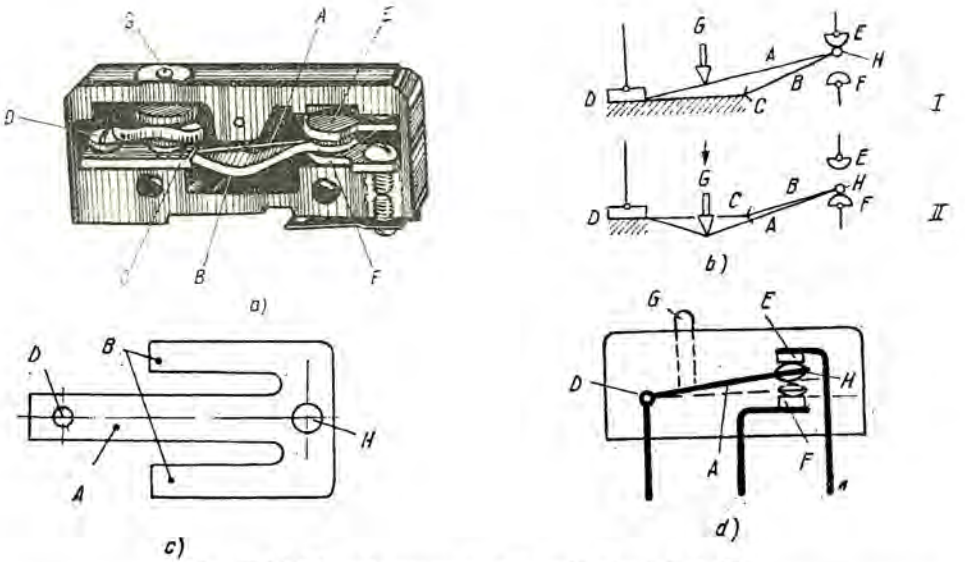


Fig. 19.10. Microîntreruptor cu lamelă elastică în T:

a — elemente componente; *b* — schemă cinematică; *c* — lamelă elastică-detaliu; *d* — schemă de conexiuni; *A* — brațul lung al lamelei elastice; *B* — brațul scurt al lamelei elastice; *C* — punct de oscilație; *D* — bornă de intrare și punct de fixare a lamelei elastice; *E* și *F* — contacte fixe; *G* — știft de acționare; *H* — contact mobil.

contactul fix *E*, închizînd circuitul între bornele *D* și *E* (fig. 19.10, *b—I* și 19.10, *d*).

Dacă o forță exterioară acționează asupra știftului G, acesta apasă asupra brațului *A* care mai întîi se deformează și apoi, după depășirea unui punct mort (confundarea cu linia *DC*), determină trecerea bruscă a contactului mobil din poziția *E* în poziția *F* (fig. 19.10, *b—II*).

În momentul în care asupra știftului G nu se mai exercită nici o forță, elasticitatea brațelor *B* ale lamelei elastice determină revenirea ei în poziția inițială (fig. 19.10, *b—I*).

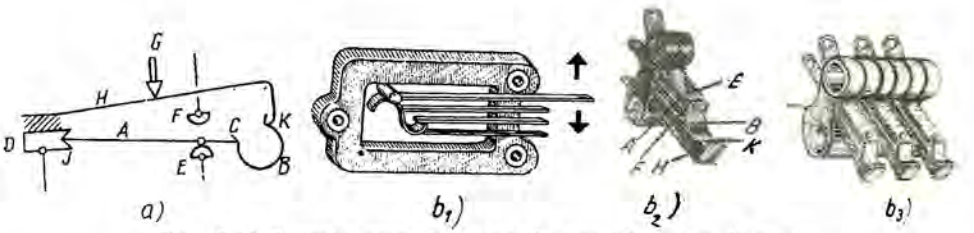
Acest tip de microîntreruptor, de construcție relativ simplă, are dezavantajul că în timpul în care știftul *G* tinde să deplaseze contactul mobil din poziția *I* în poziția *II*, presiunea de contact scade treptat. De aceea, acest tip de microîntreruptor *poate fi folosit numai acolo unde acționarea nu este foarte lentă.*

De asemenea, această construcție presupune o fabricație foarte atent urmărită în toate fazele de execuție. În caz contrar, se obține o împrăștiere foarte mare a performanțelor reale.

Unul din avantajele acestei construcții îl constituie o ușoară frecare între contacte, care se produce în mod natural atît la închidere, cît și la deschidere.

● **Microîntreruptor cu lamelă elastică în „arc de cerc".** Brațul mobil *A* poate fi ținut în una din pozițiile de repaus *E* sau *F* de către lamela elastică *B*.

În mod normal, *adică atunci cînd asupra știftului G nu acționează nici o forță* (poziția brațului *A* este reprezentată în figura 19.11, *a*), circuitul electric exterior este închis prin bornele *D* și *E*.



a) b_1) b_2) b_3)

Fig. 19.11. Microîntreruptor cu lamelă elastică în arc de cerc:

a — schema cinematică; *b* — diferite soluții constructive; *A* — brațul contactului mobil; *B* — lamelă elastică în arc de cerc; *E* și *F* — contacte fixe; *H* — braț de pîrghie; *G* — știft de acționare.

În cazul în care asupra știftului G acționează o forță, aceasta se transmite prin brațul *H* asupra lamelei *B*, care se deformează treptat, mărind în acest timp presiunea de contact în *E*. În momentul în care punctul *K* a ajuns în prelungirea brațului *A*, resortul *B* împinge brusc brațul mobil *A* în poziția *F*, realizîndu-se astfel comutarea circuitului exterior pe bornele *D* și *F*.

Dacă forța de apăsare în G dispare, arcuirea proprie a brațului *H* readuce contactele în poziția inițială.

Acest tip de microîntreruptor asigură o presiune de contact suficient de mare pînă foarte aproape de „punctul mort"; de aceea el este *utilizabil și în cazul unor deplasări foarte lente ale elementului de acționare.*

O altă soluție constructivă cu arcuire prin resort elicoidal, este reprezentată în figura 19.12.

3. DOMENIUL DE UTILIZARE

Utilizarea principală a microîntreruptoarelor este ca *element de comandă acționat mecanic*, pentru comanda închiderii și deschiderii contactelor care deservesc instalații complexe de mecanizare și automatizare.

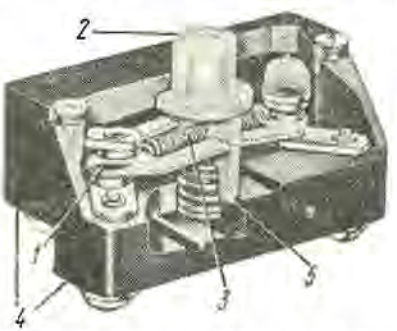


Fig. 19.12. Microîntreruptor cu arcuire prin resort elicoidal:

1 — contacte mobile de argint; *2* — buton de acționare; *3* — resort din oțel inoxidabil; *4* — borne de racord la circuitul exterior (așezate în trepte pentru a se asigura o linie de conturnare suficientă); *5* — sanie mobilă servind pentru basculareа mecanismului de contact.

Pentru a se vedea diversitatea aplicațiilor posibile ale microîntreruptoarelor, se dau în figura 19.13 cîteva exemple, în care microîntreruptoarele sînt folosite într-un:

— *releu intermediar* cu două circuite independente, realizat cu ajutorul unui electromagnet de releu telefonic și a două microîntreruptoare (fig. 19.13, *a*);

— *releu centrifug*, realizat de asemenea cu ajutorul a două microîntreruptoare (fig. 19.13, *b*);

— *releu de timp* (domeniu de lucru cuprins între 10 s și 3 min) realizat cu ajutorul unui bimetal încălzit indirect și al unui microîntreruptor (fig. 19.13, *c*);

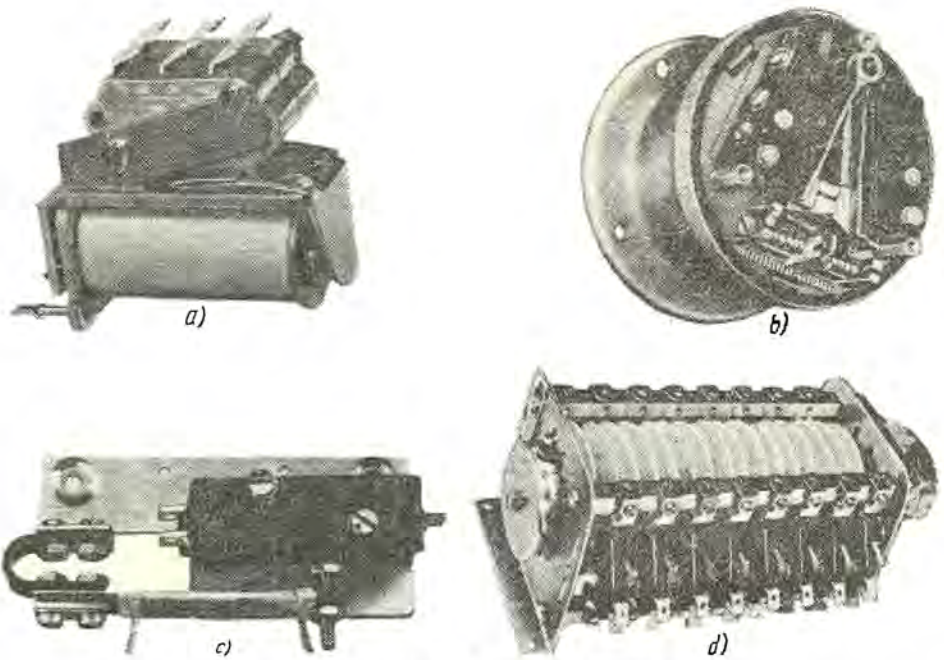


Fig. 19.13. Aplicații ale microîntreruptoarelor:
a — releu intermediar; *b* — releu centrifugal; *c* — releu de timp; *d* — dispozitiv de programare (releu-program).

— *dispozitiv de programare* realizat cu ajutorul unui micromotor sincron, al unui tambur cu came și cu o serie de microîntreruptoare (cîte unul pentru fiecare camă) (fig. 19.13, *d*).

F. ÎNTRERUPTOARE TRESTIE

Un tip nou de aparate de comutare care își găsește utilizarea din ce în ce mai mare *în domeniul curenților de mică intensitate*, îl constituie așa-numitele *relee (întreruptoare) trestie*.

1. CONSTRUCȚIE ȘI FUNCȚIONARE

Aceste relee sînt formate din *două lamele subțiri de material magnetic* (aliaj din oțel cu nichel) închise etanș într-un *tub subțire de sticlă* (fig. 19.14). În mod normal, lamelele sînt dispuse la o distanță foarte mică între ele, distanță care asigură totuși izolația necesară. Dacă însă se apropie de acest tub un magnet sau se introduce tubul în cîmpul electromagnetic al unei bobine parcurse de curent continuu (fig. 19.14, a_2), lamelele se magnetizează și se lipesc, stabilind în acel punct un contact electric. La dispariția cîmpului magnetic exterior, lamelele revin, prin arcuire proprie, în poziția inițială, întrerupînd astfel circuitul.

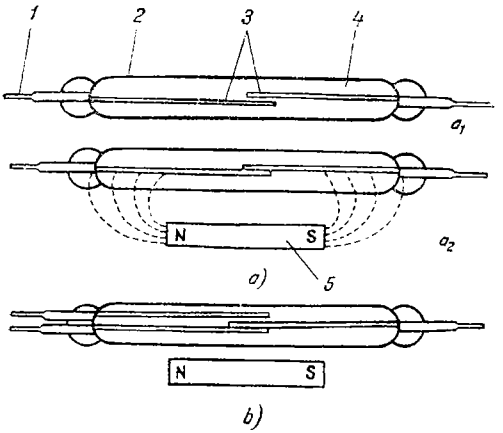


Fig. 19.14. Relee trestie:

a — cu funcție de întreruptor (a_1 — în poziție deschis; a_2 — în poziție închis); *b* — cu funcție de comutator. *1* — bornă de legătură la circuitul exterior; *2* — tub de sticlă; *3* — lamele din material magnetic; *4* — atmosferă de gaz inert; *5* — magnet de comandă.

Pentru obținerea unui bun contact electric, lamelele sînt acoperite, în zona de contact, cu un metal de contact care poate fi, după caz, aur, argint, rodiu sau wolfram.

Tubul este umplut cu un gaz inert, pentru a proteja suprafețele de contact împotriva coroziunilor și oxidărilor și pentru a menține o rezistență de contact cît mai coborîtă și constantă.

2. CARACTERISTICI TEHNICE

● **Avantajele** cele mai importante pe care le prezintă releele trestie sînt următoarele:

— *viteza foarte mare de acționare* (1 ... 2 ms la închidere și 0,5 ms la deschidere);

— *rezistența foarte mare de izolare între contactele deschise* (de ordinul a $10^{10}\Omega$);

— *rezistență de contact mică și constantă;*

— *consum de energie foarte mic pentru acționare;*

— *funcționare într-o plajă largă de temperaturi* (—40 ... +200°C);

— *separarea completă a contactelor față de mediul exterior*, de unde rezultă o mare fiabilitate a funcționării corecte a contactelor;

— *dimensiuni reduse;* în funcție de tipul constructiv, lungimea tubului de sticlă variază între 20 ... 50 mm, iar diametrul acestuia, între 5 și 5,5 mm;

— *durata mare de serviciu.*

● **Dezavantajele** acestui tip de aparate se referă îndeosebi la:

— *puterea de rupere destul de mică* (de obicei, curenți sub 1 A la tensiuni sub 30 V);

— faptul că *nu se pot utiliza decît în curent continuu;*

— *sensibilitatea foarte mare la suprasarcini.*

3. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

În mod obișnuit, un releu trestie se realizează ca *întreruptor cu contactele normal deschise* (fig. 19.14, *a*). Există însă și variante constructive cu funcție de *comutator*, adică avînd un contact normal închis și un contact normal deschis (fig. 19.14, *b*).

Cîmpul magnetic exterior poate fi produs de un magnet permanent sau de o bobină parcursă de un curent de comandă. În acest caz, în interiorul aceleiași bobine se pot introduce pînă la opt relee comandate simultan.

○○○ **Important.** Alegerea tipului de releu, a variantei constructive, inclusiv a materialului folosit pentru contacte, trebuie făcută în strictă corelare cu condițiile de utilizare.

4. DOMENIUL DE UTILIZARE

Datorită caracteristicilor lor tehnice, releele trestie sînt folosite în prezent în mod covîrșitor în circuite electronice (tehnică de calcul, telefonie și domenii înrudite). Ele pătrund însă treptat și în domeniul curenților tari, îndeosebi în componența unor relee de construcție specială și ca înlocuitori ai microîntreruptoarelor acolo unde mediul este corosiv și curenții care trebuie întrerupți au valori mici. În aceste condiții, se folosește avantajul acestui tip de relee de a putea fi comandat chiar numai prin apropierea unui corp cu proprietăți feromagnetice.

G. RELEE INTERMEDIARE

În unele situații, în care butoanele de comandă, microîntreruptoarele sau aparatele electrice care supraveghează buna funcționare a unei instalații (termoelemente, manometre și termometre cu contacte etc.) nu au contacte suficient de puternice pentru a comanda direct închiderea sau deschiderea unui contactor sau a unui întreruptor automat acționat prin electromagnet, se utilizează **relee intermediare.** În aceste situații, releele intermediare *au doar rolul de amplifica puterea de comandă.*

În alte situații, este nevoie ca un aparat de comandă (de exemplu un releu termic cu bimetal), *să transmită simultan comenzi în mai multe circuite distincte;* și în astfel de situații se folosesc, de asemenea, relee intermediare, care pot închide sau deschide concomitent 6—10 circuite.

Releele intermediare sînt aparate de conectare foarte asemănătoare contactoarelor, atît ca soluție constructivă, cît și ca principiu de funcționare, dar sînt dimensionate pentru curenți nominali mici (2—10 A). Sînt formate dintr-un electromagnet, asemănător celor folosite la contactoare, și 6—10 perechi de contacte, acționate de armătura mobilă a electromagnetului.

Contactele pot fi modificate, după nevoile de exploatare, în contacte normal închise sau contacte normal deschise.

Releele intermediare se execută *numai cu aparate de întrerupere în aer.* Rolul lor este de a primi comenzile de mică putere de la aparatele care supraveghează funcționarea unei instalații și a le transforma în comenzi de curenți tari, capabile să determine, de exemplu, închiderea unui întreruptor automat mare, acționat prin electromagnet.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt măsurile pe care le iau constructorii de aparate pentru a se evita accidente prin manipularea necorespunzătoare a butoanelor și cheilor de comandă?

2 — Care sînt tipurile constructive de microîntreruptoare?

Capitolul 20

SIGURANȚE FUZIBILE DE JOASĂ TENSIUNE

● A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE ● B. EVOLUȚIA CONSTRUCTIVĂ A SIGURANȚELOR FUZIBILE. TIPURI DE SIGURANȚE FUZIBILE ● C. SOLUȚII CONSTRUCTIVE ȘI DOMENII DE UTILIZARE ● D. MĂRIMI NOMINALE ● E. EXPLOATAREA CORECTĂ A SIGURANȚELOR FUZIBILE

A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Pentru protecția împotriva suprasarcinilor, în rețelele de joasă tensiune se utilizează *relee termice cu bimetal,* studiate în capitolele precedente.

Pentru protecția împotriva scurtcircuitelor se folosesc fie *întreruptoarele automate, fie siguranțele fuzibile.*

Siguranțele fuzibile sînt cele mai simple aparate de protecție împotriva scurtcircuitelor. Ele sînt formate, în principiu, dintr-un element fuzibil, constînd dintr-un fir sau o bandă subțire de metal, cu secțiunea astfel aleasă, încît, dacă sînt străbătute de un curent mai mare decît cel admis de instalație, să se topească, întrerupînd astfel circuitul protejat, în care sînt montate în serie.

● Principalele **calități ale siguranțelor fuzibile** sînt *construcția foarte simplă și proprietatea de a întrerupe curenți mari de scurtcircuit într-un timp foarte scurt,* încă înainte ca aceștia să fi atins valoarea maximă posibilă (se realizează deci o limitare a curenților de scurtcircuit care străbat instalația, reducîndu-se foarte mult solicitările termice și dinamice la care aceasta este supusă).

● Siguranțele fuzibile prezintă și unele **dezavantaje,** care limitează domeniile lor de utilizare. Dintre aceste dezavantaje, mai importante sînt următoarele:

— *prin arderea fuzibilului se întrerupe alimentarea circuitului cu energie electrică pînă la înlocuirea fuzibilului* ars de către personalul de exploatare; din această cauză, siguranțele fuzibile nu pot fi folosite decît în instalații care permit întreruperea alimentării cu energie electrică timp de cîteva minute sau zeci de minute;

— *timpul în care se produce topirea fuzibilului* (cînd siguranța este parcursă de curenți de suprasarcină) *variază în limite foarte largi și este influențat de*

temperatura mediului înconjurător; de aceea, siguranțele fuzibile rămîn prin excelență aparate de protecție împotriva scurtcircuitelor, utilizarea lor pentru protecția la suprasarcină fiind posibilă numai dacă se iau unele măsuri speciale, asupra cărora se va reveni în cadrul acestui capitol;

— siguranțele fuzibile *sînt aparate cu funcționare monofazată;* se întîmplă, uneori, îndeosebi la suprasarcini repetate, să se ardă numai una dintre cele trei siguranțe fuzibile ale unui sistem trifazat, situație care poate provoca supraîncălzirea și chiar arderea motoarelor electrice (întrucît rămîn alimentate numai pe două faze);

— siguranțele fuzibile *nu pot fi reglate în exploatare în scopul realizării unei anumite caracteristici de protecție.*

B. EVOLUȚIA CONSTRUCTIVĂ A SIGURANȚELOR FUZIBILE. TIPURI DE SIGURANȚE FUZIBILE

În prezent, în instalațiile electrice de joasă tensiune se folosește o varietate foarte mare de siguranțe fuzibile, corespunzînd unor soluții constructive diferite; ele reprezintă rezultatele unei evoluții îndelungate, în care soluțiile constructive s-au îmbunătățit treptat, în scopul realizării unor anumite cote de gabarit, adesea fixate prin standarde, și a trei **obiective principale:**

— *realizarea unei puteri mari de rupere;*

— *obținerea unei încălziri reduse în timpul funcționării la sarcină nominală;*

— *obținerea unei anumite caracteristici de topire,* adaptată particularităților elementului protejat.

● *Inițial,* siguranțele fuzibile s-au realizat sub forma unui simplu **fir de plumb, întins în aer liber** între două borne, soluție satisfăcătoare pentru tensiunile și puterile de scurtcircuit, foarte reduse de atunci (fig. 20.1, *a*).

● *O primă perfecționare* s-a realizat prin **înlocuirea firului de plumb cu fire de cupru sau de argint.** Aceste metale, avînd conductivitate electrică și conductibilitate termică mult mai bune, precum și un punct de topire mai ridicat decît plumbul, au permis să se mărească mult densitatea de curent în firul fuzibil, deci să se folosească, la același curent nominal, secțiuni mult mai mici ale firului fuzibil.

● Studii și experimentări efectuate asupra condițiilor de stingere a arcului electric în siguranțe fuzibile, au arătat că, pentru a se obține o putere mai mare de rupere, este necesar să se reducă la minimum cantitatea de vapori de metal produși în timpul topirii fuzibilului. Apare deci *necesitatea de a se reduce cantitatea de metal vaporizat în timpul topirii fuzibilului,* ceea ce se poate obține prin:

— folosirea în construcția firului fuzibil a unui metal cu conductibilitate electrică și termică ridicată și cu punct de topire ridicat;

— favorizarea condițiilor de răcire a firului fuzibil;

— limitarea zonei de topire.

Acest gen de siguranțe cu firul fuzibil întins liber în aer, se mai folosește încă pentru protecția circuitelor de iluminat exterior, sub forma **siguranțelor aeriene pe suport de porțelan.** Ele au o putere de rupere redusă și nu limitează valoarea de vîrf a curentului de scurtcircuit (întreruperea are loc la trecerea curentului alternativ prin zero).

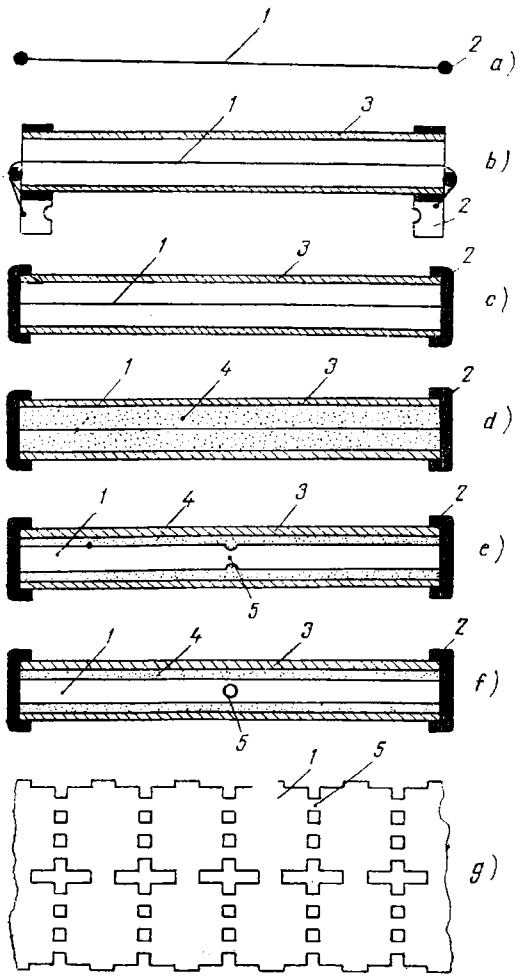


Fig. 20.1. Perfecționarea constructivă a elementelor fuzibile

1 — element fuzibil; *2* — piesă de contact; *3* — tub izolant; *4* — umplutură de nisip; *5* — strangulare (istm).

● Deoarece siguranțele prezintă și neajunsul că în timpul topirii aruncă metal topit, periclitînd siguranța instalației și a personalului de deservire, **s-a închis firul fuzibil într-un tub izolant** (fig. 20.1, *b* și *c*). Prin aceasta nu se mărește puterea de rupere, dar se îmbunătățește substanțial siguranța în exploatare.

Nici aceste siguranțe nu limitează valoarea curentului de scurtcircuit.

● O mărire importantă a puterii de rupere s-a obținut prin **umplerea tubului izolant cu nisip pur și uscat**, de o anumită granulație (fig. 20.1, *d*).

Efectul favorabil al nisipului are două cauze, și anume:

— *conductibilitatea termică foarte bună* a nisipului, care permite să se folosească, la același curent nominal, fire de cupru sau de argint cu secțiune mai mică decît în aer liber, reducîndu-se astfel cantitatea de vapori metalici produși în timpul topirii;

— nisipul exercită o *acțiune puternică de răcire a arcului electric*, limitînd atît valoarea, cît și durata curentului de scurtcircuit. Vaporii metalici condensează pe granulele de nisip, limitîndu-se astfel efectul de ionizare din coloana de arc.

● Pentru a se reduce și mai mult secțiunea firului fuzibil (în scopul reducerii cantității de metal ce se vaporizează în timpul topirii), s-a căutat să se îmbunătățească condițiile de răcire ale acestuia prin **folosirea mai multor fire fuzibile legate în paralel,** sau prin **înlocuirea firelor rotunde cu benzi subțiri de argint sau de cupru.** Dintre aceste două soluții, în joasă tensiune s-a dovedit mai avantajoasă din punct de vedere tehnologic (mai puține suduri de contact) și mai sigură în exploatare, *folosirea benzilor subțiri*. Acestea au permis perfecționarea siguranțelor fuzibile, deoarece practicîndu-se gîtuirea sau perforarea benzii în anumite locuri (fig. 20.1, *e* și *f*) s-a obținut o limitare importantă a zonei în care fuzibilul se încălzește puternic, în serviciu normal. Acest lucru a condus la:

— reducerea importantă a încălzirii bornelor în serviciu;

— reducerea cantității de metal topit, deci obținerea unei puteri mai mari de rupere și a unui efect puternic de limitare a curentului de scurtcircuit.

Aceste siguranțe se numesc **siguranțe de joasă tensiune cu mare putere de rupere.**

Creșteri importante ale puterii de rupere s-au obținut folosindu-se lamele fuzibile perforate (fig. 20.1, *g*), soluție care urmărește să utilizeze la maximum avantajele pe care le aduce reducerea, pe porțiuni limitate, a secțiunii firului fuzibil.

În mod normal, siguranțele fuzibile se caracterizează printr-o funcționare foarte rapidă (miimi de secundă). Există însă situații ca aprinderea unui grup de lămpi cu filament de putere mare sau pornirea motoarelor electrice cu rotorul în scurtcircuit, în care apar supracurenți care nu pot fi evitați și care, fiind de *scurtă durată*, nu provoacă încălziri exagerate ale elementelor circuitului protejat. Pentru a se putea folosi complet posibilitățile conductoarelor din instalațiile electrice de a suporta fără deteriorări supracurenți de scurtă durată, este necesar ca elementul fuzibil să suporte fără topire supraintensitățile trecătoare. Legat de aceste necesități practice, **în funcție de timpul de producere a topirii fuzibilului**, s-a diferențiat două categorii de **siguranțe fuzibile de joasă tensiune**:

• *siguranțe fuzibile „rapide"*, la care timpul pînă la topire este foarte scurt, chiar și în cazul unor supraintensități care depășesc cu puțin curentul nominal al fuzibilului;

• *siguranțe fuzibile „inerte"*, care suportă un timp relativ lung (secunde sau minute) supraintensități de cîteva ori mai mari decît curentul nominal.

○○○ **Important.** Siguranțele fuzibile inerte au o funcționare întîrziată numai la supraintensități mici; la scurtcircuite ele acționează practic tot atît de repede ca și siguranțele rapide.

1. SIGURANȚELE FUZIBILE RAPIDE

Siguranțele fuzibile rapide sînt caracterizate din punct de vedere constructiv prin aceea că *firul fuzibil este realizat dintr-un singur metal* (cupru sau argint).

● **Avantaje.** Ele reprezintă tipul cel mai folosit de siguranțele fuzibile, avînd *o construcție relativ simplă* și *o putere mare de rupere.*

● **Dezavantajele** cele mai importante sînt următoarele:

— argintul și cuprul (metale folosite pentru realizarea firului fuzibil) *au o temperatură de topire foarte ridicată* (967°C cuprul și 1083°C argintul) ceea ce, în cazul unor curenți de serviciu foarte apropiați de cel nominal, *determină încălziri importante ale bornelor și ale conductoarelor de racord;*

— *temperatura ridicată a firului fuzibil favorizează oxidarea treptată a firului fuzibil* (îndeosebi la fuzibilele de cupru), ceea ce determină *reducerea secțiunii active a acestuia* și provoacă, după un timp relativ scurt de exploatare, *topirea sa chiar la curenți mai mici decît curentul nominal;*

— *în cazul consumatorilor caracterizați prin supracurenți inevitabili de scurtă durată*, la punerea sub tensiune (ca de exemplu, motoarele electrice cu rotorul în scurtcircuit, instalațiile mari de iluminat incandescent, transformatoarele), aceste siguranțe *nu pot realiza o protecție eficace*, deoarece, dacă sînt astfel dimensionate încît să nu se topească la supracurenți obișnuiți, ele nu mai realizează o protecție suficient de rapidă la curenți de scurtcircuit.

2. SIGURANȚELE FUZIBILE INERTE

Pentru a se înlătura neajunsurile siguranțelor rapide, s-a căutat să se obțină siguranțele fuzibile care să realizeze:

— încălziri mai reduse în serviciu de durată;

— posibilități de supraîncărcare temporară;

— eliminarea manifestărilor de îmbătrînire.

Soluțiile practice date acestor probleme se grupează în jurul a trei **principii constructive**, și anume:

- *siguranțe fuzibile cu separare mecanică;*
- *siguranțe fuzibile cu topire prin efect metalurgic;*
- *siguranțe fuzibile cu topire accelerată prin reacții chimice.*

a. Siguranțe fuzibile cu separare mecanică

Acestea (fig. 20.2) au firul fuzibil realizat din două porțiuni, lipite între ele cu un aliaj avînd punct de topire coborît.

Ele **funcționează** astfel:

— elementul fuzibil *1* este astfel dimensionat, încît la suprasarcini de lungă durată temperatura atinsă să determine topirea aliajului de lipire *2*; în acest moment resortul *3* îndepărtează una dintre porțiunile firului fuzibil, determinînd, prin separarea mecanică, formarea arcului electric de întrerupere;

— *la suprasarcini relativ mari* dar de scurtă durată, cum sînt de exemplu cele care apar la pornirea motoarelor asincrone, zona de lipire, prevăzută eventual cu o secțiune mărită de metal, manifestă o anumită inerție termică, astfel încît aceste suprasarcini (inerente în serviciu) sînt suportate fără arderea fuzibilului;

— *la scurtcircuite*, zona de lipire prezintă de asemenea o anumită inerție termică, iar elementul se topește pe porțiunile subțiri *1*, comportîndu-se ca o siguranță rapidă;

— *în regim normal și la suprasarcini mici*, temperatura firelor *1* este mult mai mică decît cea pe care o ating în aceleași condiții siguranțele rapide, obținîndu-se în felul acesta o încălzire mai redusă a contactelor.

Soluția întreruperii prin separarea mecanică impune ca întreruperea să aibă loc în aer (pentru a se avea libertatea de mișcare).

O siguranță construită pe baza acestui principiu este reprezentată în figura 20.3.

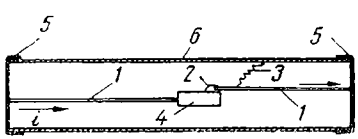


Fig. 20.2. Siguranță fuzibilă de joasă tensiune cu separare mecanică — principiu constructiv:

1 — element fuzibil; *2* — îmbinare prin aliaj cu punct coborît de topire; *3* — resort; *4* — secțiune cu capacitate termică mare; *5* — piese de contact; *6* — tub izolant.

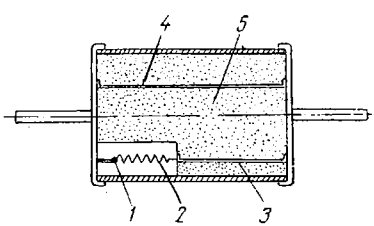


Fig. 20.3. Siguranță fuzibilă construită pe principiul separării mecanice:

1 — punct de lipire; *2* — resort; *3* — fir fuzibil în serie; *4* — fir fuzibil în paralel; *5* — umplutură de nisip.

b. Siguranțe fuzibile cu topire prin efect metalurgic

Funcționarea acestor siguranțe se bazează pe proprietatea unor aliaje de staniu-plumb de a forma, de la o anumită temperatură, cu argintul și cuprul, aliaje cu rezistență electrică mare și punct de topire coborît.

Soluția constructivă constă în aplicarea unei mici cantități dintr-un aliaj de staniu-plumb pe lamela fuzibilă din cupru sau argint, în punctul cel mai cald sau în apropierea acestuia (fig. 20.4).

Modul de funcționare este următorul:

— *în regim normal*, temperatura firului fuzibil se află sub pragul de aliere și este mult inferioară celei a siguranțelor rapide;

— *la suprasarcini de lungă durată*, temperatura atinsă determină topirea aliajului staniu-plumb, care începe să difuzeze în lamela-suport, formînd un aliaj cu rezistență electrică mare și temperatură de topire coborîtă; procesul o dată început evoluează în avalanșă (formarea aliajului mărește încălzirea locală, iar aceasta favorizează difuziunea componentelor străine în masa fuzibilului), ceea ce determină topirea rapidă a firului fuzibil;

— *la scurtcircuit*, se produce o întrerupere rapidă, prin topirea unui istm practicat în altă porțiune a lamelei fuzibile. Se obțin în felul acesta siguranțe cu întîrziere, care permit (fără să întrerupă circuitul) suprasarcini relativ mari, dar de scurtă durată.

c. Siguranțe fuzibile cu topire prin reacții chimice

Acestea (fig. 20.5) se bazează pe folosirea, în locul aliajului de staniu-plumb, a unor substanțe chimice care, la temperaturi de ordinul a 250 ... 500°C, intră în reacție cu argintul sau cuprul din care este formată lamela fuzibilă, determinînd formarea unor compuși rău conducători de electricitate. Astfel, la atingerea temperaturii de reacție, lamela fuzibilă este atacată chimic, reducîndu-i-se secțiunea utilă, ceea ce mărește încălzirea locală și accelerează reacția; se obține o întrerupere rapidă a circuitului, fără încălziri exagerate.

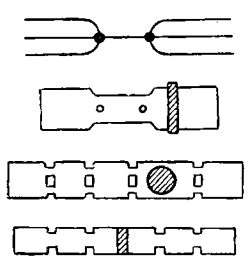


Fig. 20.4. Diferite forme de siguranțe fuzibile de joasă tensiune cu topire prin efect metalurgic.

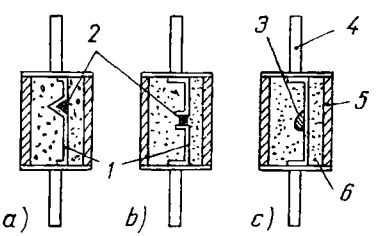


Fig. 20.5. Siguranțe fuzibile de joasă tensiunea cu topire prin reacții chimice:

a și *b* — cu depunere de aliaj pe lamela fuzibilă sau între două porțiuni ale acesteia; *c* — cu o pastilă din reactivi chimici aplicată pe fuzibil; *1* — fir fuzibil; *2* — aliaj ușor fuzibil; *3* — reactivi chimici; *4* — cuțit de contact; *5* — corp din steatit; *6* — nisip.

C. SOLUȚII CONSTRUCTIVE ȘI DOMENII DE UTILIZARE

După mediul în care se realizează întreruperea și după soluția constructivă, diferitele tipuri de siguranțe fuzibile de joasă tensiune se grupează în:

- *siguranțe cu întrerupere în aer: deschise, cu mîner* și *tubulare;*
- *siguranțe cu întrerupere în nisip:* siguranțe *cu filet* și siguranțe *cu mare putere de rupere.*

1. SIGURANȚE CU ÎNTRERUPERE ÎN AER

● **Siguranțele fuzibile deschise** sînt acele siguranțe la care *firul fuzibil este întins între două contacte, în aer liber, neprotejat* (fig. 20.6); sînt folosite din ce în ce mai puțin, deoarece au putere de rupere redusă și pot provoca accidente și scurtcircuite prin împroșcare cu material topit. Pentru acest ultim motiv, folosirea lor în cutii capsulate este interzisă.

● **Siguranțele fuzibile cu mîner** sînt siguranțe deschise, la care, *pentru a se putea înlocui fuzibilul sub tensiune, acesta este montat pe un mîner izolant din bachelită sau din porțelan;* introducerea lor în circuit se face cu ajutorul unor cuțite sau furci de contact fixate pe mîner (fig. 20.7).

Sînt folosite îndeosebi în cutii de distribuție, în circuite cu intensități nominale de 60 ... 600 A. Prezintă toate neajunsurile siguranțelor deschise. Ca element fuzibil se folosește o lamelă de zinc cu secțiune strangulată în zona centrală.

● **Siguranțe tubulare.** Pentru a se evita accidentele provocate de împrăștierea metalului topit sau de atingerea întîmplătoare a fuzibilului, *acesta se închide într-un tub din material izolant* (fig. 20.8 și fig. 20.9). Deoarece și aici

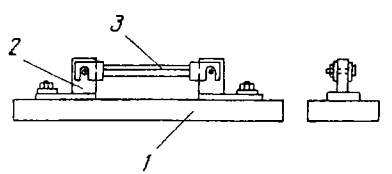


Fig. 20.6. Siguranță fuzibilă deschisă:
1 — soclu; *2* — contacte; *3* — element fuzibil.

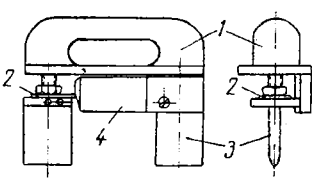


Fig. 20.7. Siguranță fuzibilă deschisă, cu mîner:
1 — mîner izolant; *2* — lamelă fuzibilă; *3* — cuțit de contact; *4* — ecran de protecție

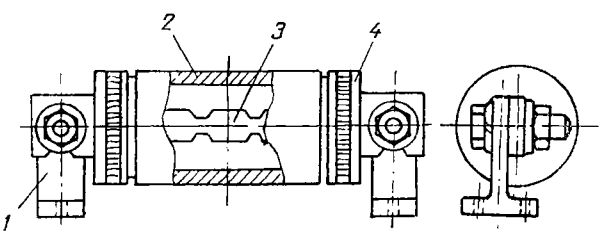


Fig. 20.8. Siguranță tubulară închisă:
1 — contact; *2* — tub izolant (fibră); *3* — lamelă fuzibilă; *4* — capac metalic.

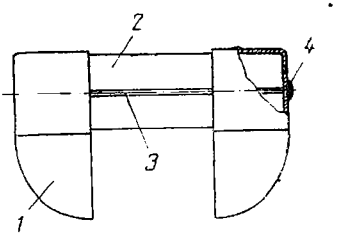


Fig. 20.9. Siguranță în tub de sticlă:
1 — contact; *2* — tub de sticlă; *3* — fir fuzibil; *4* — lipitură.

întreruperea arcului electric are loc în aer liber, puterea de rupere rămîne redusă.

Siguranțele tubulare de tipul celor din figura 20.8 se construiesc pentru intensități nominale cuprinse între 15 A și 600 A; fiind complet închise, utilizarea lor în tablouri capsulate este permisă. Siguranțele tubulare de tipul celor din figura 20.9 sînt folosite îndeosebi pentru protecția circuitelor de lumină de la automobile și tractoare, precum și în alte utilizări similare la tensiune joasă (6 ... 24 V) și puteri de rupere foarte mici.

2. SIGURANȚE CU ÎNTRERUPERE ÎN NISIP

● **Siguranțele cu filet** sînt cele mai simple și mai folosite siguranțe de joasă tensiune cu stingere în nisip. Ele se utilizează în instalații, pentru protecția circuitelor de lumină și forță de intensități mijlocii (6 ... 200 A). Sînt formate din patru elemente (fig. 20.10):

— soclul din porțelan, *3*, *4*, *5*, prevăzut cu bornele de legare la circuitul exterior;

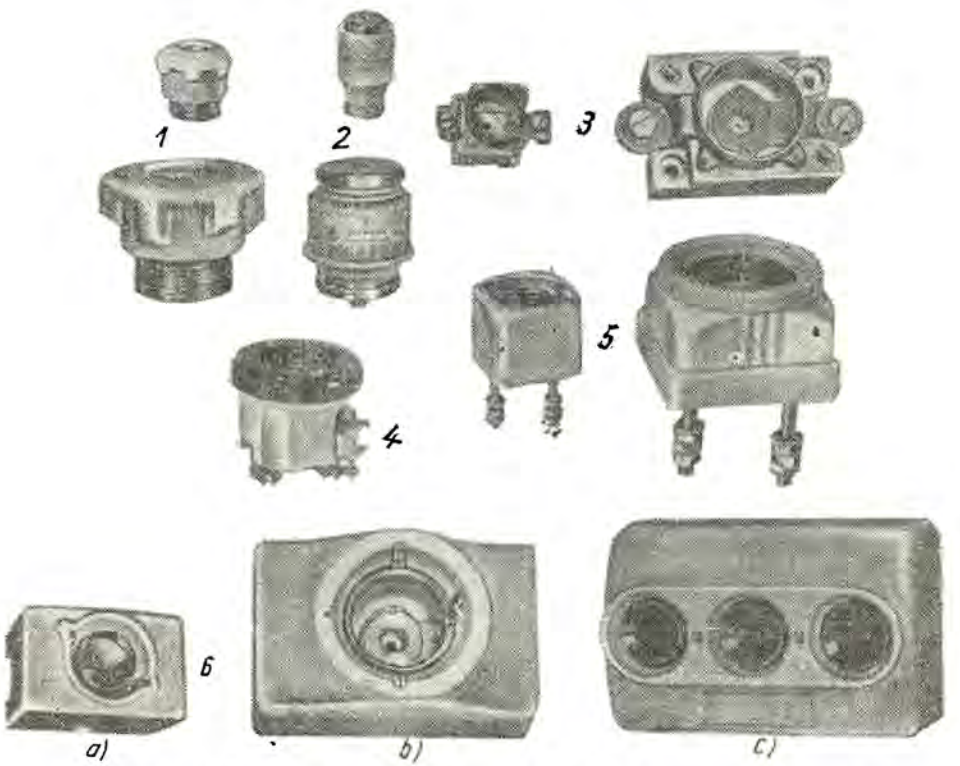


Fig. 20.10. Siguranțe fuzibile cu filet (forme constructive și elemente componente):

1 — capac filetat; *2* — patron fuzibil; *3* — socluri în execuție deschisă pentru montaj în interiorul tablourilor capsulate; *4* — idem, pentru montaj îngropat; *5* — socluri *LS*, pentru montaj aparent; *6* — socluri *LF*, pentru montaj aparent. *a* — elemente de 40 A; *b* — elemente de 200 A; *c* — soclu tripolar de 100 A.

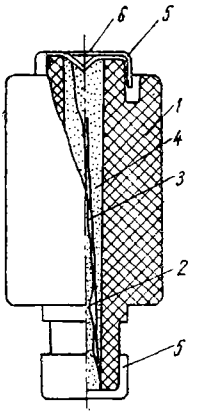


Fig. 20.11. Secțiune prin patronul fuzibil al unei siguranțe fuzibile cu filet:

1 — corp de porțelan; *2* — fir fuzibil; *3* — firul indicatorului de funcționare; *4* — nisip fin; *5* — capace de contact; *6* — indicator de funcționare.

— patronul fuzibil, *2*, alcătuit dintr-un tub de porțelan de o anumită formă, umplut cu nisip și închis la capete cu capace de contact. Firele fuzibile sînt întinse în masa de nisip între capacele de contact (fig. 20.11);

— piesele de contact, cu diametrul interior calibrat, avînd rolul de a permite introducerea numai a patroanelor pînă la o anumită intensitate, corespunzătoare circuitului protejat, și de a împiedica introducerea unor patroane de intensitate nominală mai mare (care nu ar putea asigura o protecție corectă);

— capacul filetat *1* (fig. 20.10), cu rolul de a închide patronul, realizînd totodată presiunea necesară de contact.

● **Siguranțele** de joasă tensiune **cu mare putere de rupere** sînt siguranțe fuzibile de construcție specială, care pot întrerupe curenți de scurtcircuit de ordinul zecilor de kiloamperi. Sînt formate dintr-un tub foarte rezistent de porțelan sau steatită, umplut cu nisip fin și închis ermetic la capete prin capace metalice (fig. 20.12). Fuzibilele, din benzi sau fire de argint, sînt trecute prin nisip de la un capac la celălalt și sînt sudate de acestea. Pentru a se reduce încălzirea fuzibilului în regim normal, se folosește frecvent, la construcțiile noi, aplicarea pe lamela fuzibilă a unor aliaje de topire prin efect metalurgic.

Aceste siguranțe se construiesc pentru intensități nominale de 60... 1 000 A, fiind folosite îndeosebi în rețele de distribuție urbană și în instalații industriale (fig. 20.13).

Valoarea maximă a curentului care poate fi întrerupt de aceste siguranțe variază între 25 și 100 kA, ceea ce depășește cu mult cei mai mari curenți de scurtcircuit care pot să apară în rețele de distribuție de joasă tensiune. Se întîmpină însă, încă, dificultăți în realizarea unor siguranțe cu comportare sigură în domeniul curenților de suprasarcină cuprinși între curentul nominal și curentul de topire a siguranței (funcționarea, chiar temporară, în acest domeniu, provoacă încălziri exagerate, fenomene de îmbătrînire a firului fuzibil și arderi intempestive).

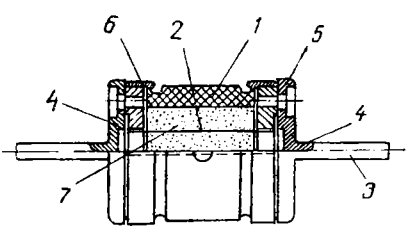


Fig. 20.12. Secțiune prin patronul fuzibil al unei siguranțe de joasă tensiune cu mare putere de rupere:

1 — tub de porțelan; *2* — fir fuzibil; *3* — cuțit de contact; *4* — capac de închidere; *5* — inel de fixare; *6* — rondelă de azbest; *7* — nisip.

Siguranțele fuzibile de joasă tensiune cu mare putere de rupere sînt, în primul rînd, destinate funcționării în rețelele de curent alternativ de 50 sau 60 Hz. Ele pot fi, însă, folosite și în instalații de curent continuu, dacă pe ele este marcată, în mod explicit, posibilitatea folosirii în instalațiile de curent continuu și puterile de rupere corespunzătoare (în general, puterile de rupere sînt, la aceeași tensiune nominală, mai mici în cazul folosirii în rețele de curent continuu).

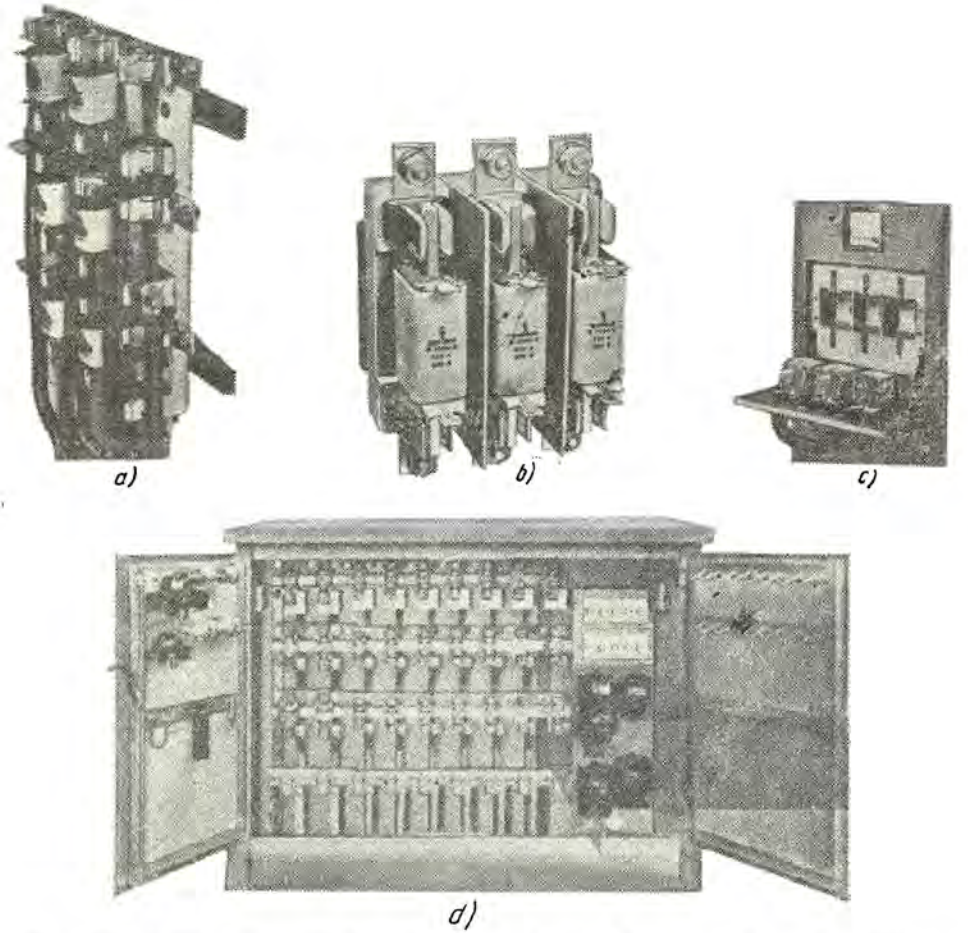


Fig. 20.13. Siguranțe de joasă tensiune cu mare putere de rupere — forme de utilizare:
a — montaj pentru protecția unor plecări trifazate în cablu; *b* — ansamblu trifazat pentru montaj în tablouri; *c* — cutie de distribuție trifazată în care patroanele, fixate pe capac, au și funcție de separator; *d* — cutie de distribuție supraterană, cu plecări în cablu protejate prin siguranțe cu mare putere de rupere.

D. MĂRIMI NOMINALE

În condiții normale de lucru, firul fuzibil este parcurs de curentul de serviciu al instalației. În această situație, *firul fuzibil și bornele de legătură* trebuie să opună o rezistență cît mai mică trecerii curentului, iar încălzirea lor trebuie să rămînă suficient de mică, pentru a nu transmite încălziri periculoase conductoarelor de legătură.

În același timp, *soclul siguranței* trebuie să asigure izolarea firului fuzibil și a celorlalte elemente din circuitul de curent față de piesele conducătoare

legate la pămînt. De aceea, soclul unei siguranțe este caracterizat prin două mărimi:

• *tensiunea nominală*, în funcție de care se dimensionează izolația siguranței;

• *curentul nominal al soclului*, în funcție de care se dimensionează contactele și căile de curent; *scara intensităților nominale standardizate pentru socluri* este: 25; 63; 100; 200; 350; 630; 1 000 A.

Pentru a se obține o protecție cît mai bună, *scara intensităților nominale standardizate ale patroanelor* este însă mult mai bogată; de exemplu, pînă la 200 A sînt standardizate valorile: 6; 10; 16; 20; 25; 35; 40; 63; 80; 100; 125; 160; 200 A.

Rezultă că soclul trebuie să poată fi echipat cu patroane de diferite intensități, mai mici sau cel mult egale cu intensitatea sa nominală.

O siguranță fuzibilă se caracterizează prin **puterea de rupere**, mărime ce se exprimă prin relația:

$$P_r = \sqrt{3} U_n I_s \quad [\text{MVA}],$$

în care:

U_n este tensiunea nominală a siguranței;

I_s — valoarea eficace a celui mai mare curent de scurtcircuit perzumtiv (v. mai jos) pe care siguranța îl poate întrerupe.

Acest mod de exprimare a puterii de rupere este folosit îndeosebi pentru siguranțele de înaltă tensiune. Puterea de rupere a siguranțelor de joasă tensiune se exprimă de obicei, sub forma capacității de rupere I_s, în kA, indicîndu-se deci numai valoarea maximă a curentului care poate fi întrerupt.

Unele noțiuni legate de întreruperea curenților de scurtcircuit cu ajutorul siguranțelor fuzibile se vor înțelege mai bine urmărindu-se figura 20.14:

— În funcție de valoarea instantanee a tensiunii în momentul în care se produce scurtcircuitul, variația curentului de scurtcircuit în primele perioade poate avea loc după curba *a* (curent de scurtcircuit asimetric) sau după curba *b* (curent de scurtcircuit simetric).

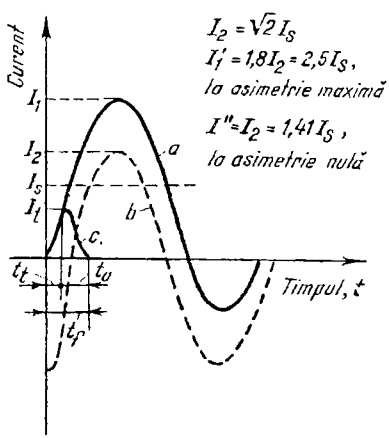


Fig. 20.14. Noțiuni legate de întreruperea curenților de scurtcircuit cu ajutorul siguranțelor fuzibile:

t_t (timp de topire) — timpul de la producerea scurtcircuitului pînă în momentul în care începe să se topească firul fuzibil; t_a (timp sau durată de arc) — timpul din momentul topirii fuzibilului pînă la realizarea întreruperii curentului; t_f — durata efectivă a scurtcircuitului.

— Dacă se notează cu I_s valoarea eficace a *curentului de scurtcircuit simetric*, valcarea de vîrf I_2 a curentului de scurtcircuit simetric este $I_2 = \sqrt{2} I_s$, iar valoarea de vîrf I_1 a curentului de scurtcircuit asimetric poate varia între valorile:

$$I_1' = 1{,}8 I_2 = 2{,}5 I_s$$

(la asimetrie maximă) și

$$I_1'' = I_2 = 1{,}41\ I_s$$

(la asimetrie nulă).

— În conformitate cu prescripțiile din țara noastră (și din toate țările europene), în calculul puterii de rupere a siguranțelor se folosește valoarea eficace a curentului de scurtcircuit simetric I_s; în schimb, pentru calculul solicitărilor dinamice ale instalației se consideră valoarea I_1'.

În cazul cînd se utilizează siguranțele fuzibile cu mare putere de rupere (siguranțe care au proprietatea de a limita valoarea curenților de scurtcircuit) curentul este întrerupt înainte de a atinge valcarea maximă

iar variația reală a curentului de scurtcircuit limitat prin funcționarea siguranței este cea indicată de curba *c*. În acest caz, deși curenții de scurtcircuit I_1 sau I_2 nu sînt efectiv atinși, în expresia puterii de rupere a siguranței intervine tot valoarea I_s, numită în acest caz *curent de scurtcircuit prezumtiv.*

Se numește **deci curent de scurtcircuit prezumtiv** *valoarea maximă pe care ar putea să o atingă curentul de scurtcircuit în instalație, atunci cînd siguranța ar fi înlocuită cu o porțiune de conductor de impedanță neglijabilă.*

În expresia puterii de rupere a unei siguranțe nu intră valoarea curentului real întrerupt I_t ci valoarea curentului de scurtcircuit prezumtiv I_s, acesta fiind curentul de scurtcircuit care s-ar stabili în instalație dacă nu ar fi siguranța.

Variația timpului de funcționare *t*, adică a timpului care se scurge de la începutul scurtcircuitului pînă în momentul topirii fuzibilului, în funcție de valoarea curentului de scurtcircuit prezumtiv, se prezintă sub forma unei curbe, numită *caracteristica de topire a siguranței* (fig. 20.15).

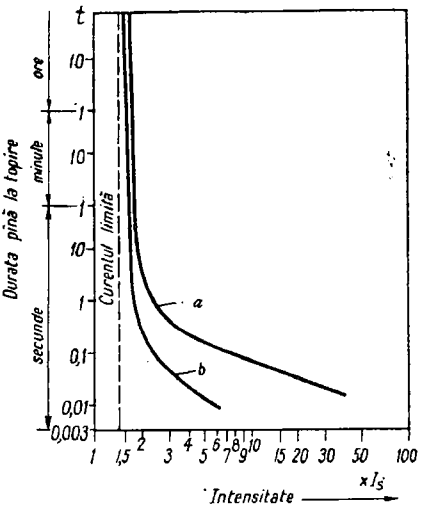


Fig. 20.15 Caracteristicile de topire ale siguranțelor:
a — siguranță inertă; *b* — siguranță rapidă.

Această caracteristică este necesară pentru a se realiza selectivitatea protecției la scurtcircuit, stabilindu-se în mod voit o anumită succesiune de funcționare în timp a diferitelor aparate de protecție montate în serie într-un circuit dat. Se urmărește ca aparatul de protecție cel mai apropiat de defect să declanșeze întîi, pentru a lăsa o porțiune cît mai mare din circuit neafectată de defect.

E. EXPLOATAREA CORECTĂ A SIGURANȚELOR FUZIBILE

Siguranțele fuzibile reprezintă unul dintre cele mai simple și mai eficace aparate de protecție împotriva curenților de scurtcircuit; dar pentru ca ele să-și îndeplinească corect rolul și să nu devină la rîndul lor o sursă de accidente, este absolut necesar ca în exploatarea siguranțelor fuzibile să se respecte anumite **reguli,** printre care mai importante sînt următoarele:

— alegerea corectă a curentului nominal al patronului fuzibil;

— protecția împotriva unor încălziri mari;

— protecția împotriva împroșcării cu metal lichid;

— manevrarea corectă a siguranțelor fuzibile.

● **Alegerea corectă a curentului nominal al patronului fuzibil.** Siguranțele fuzibile își îndeplinesc corect rolul de protecție numai dacă curentul nominal al siguranței este corect ales în raport cu curentul de serviciu și cu regimul de funcționare al instalației protejate: Astfel:

— *dacă intensitatea nominală a elementului fuzibil este prea apropiată de curentul de serviciu al instalației,* se pot produce întreruperi inutile și

îndeosebi se mărește pericolul arderii unei singure siguranțe în instalații trifazate, ceea ce creează situația „funcționării în două faze", situație foarte periculoasă pentru motoarele electrice racordate la această instalație;

— *dacă intensitatea nominală a elementului fuzibil este prea mare,* acesta nu-și mai îndeplinește rolul de protecție.

○○○ **Important.** Pentru aceste motive **este total greșită și trebuie interzisă** *înlocuirea fuzibilelor arse cu fire de cupru care șuntează elementul fuzibil, sau repararea în atelierele de exploatare a fuzibilelor arse.*

În cazul unor consumatori cu curenți mari de pornire, se folosesc siguranțe fuzibile cu caracteristică de topire specială (siguranțe „inerte"), alegerea intensității nominale făcîndu-se și aici cu deosebită grijă.

● **Protecția împotriva unor încălziri mari.** Prin natura funcționării lor, siguranțele fuzibile, îndeosebi cele rapide, reprezintă punctele cele mai fierbinți în instalație; încălzirea lor poate atinge la funcționare în apropierea „curentului limită" (v. fig. 20.15), cîteva sute de grade. Este de aceea absolut necesar să se ia următoarele *precauții*:

— *dimensionarea largă a contactelor,* pentru ca acestea să faciliteze răcirea și să nu transmită temperaturi periculoase conductoarelor de legătură;

— *verificarea periodică a aspectului și strîngerii contactelor;*

— *așezarea siguranțelor într-un astfel de mod în instalații, încît căldura emanată să fie ușor evacuată* și să nu provoace încălziri periculoase altor elemente, mai sensibile, ale instalației (pe cît posibil se așază fuzibilele în partea de sus a panourilor);

— *evitarea prezenței în vecinătatea siguranțelor, a unor pulberi, scame sau alte substanțe ușor inflamabile.*

● **Protecția împotriva împroșcării de metal lichid.** Acolo unde se folosesc fuzibile deschise (acestea sînt în ultimul timp interzise în majoritatea instalațiilor, datorită pericolului de accidente și de scurtcircuite prin împroșcarea de metal lichid), trebuie luate măsuri deosebite de separare a fazelor și de evitare a manevrarii fuzibilelor sub tensiune.

● **Manevrarea corectă a siguranțelor fuzibile.** Este absolut necesar ca siguranțele fuzibile să fie montate sau înlocuite numai după ce instalația respectivă a fost scoasă de sub tensiune. În caz contrar, există următoarele *pericole* deosebit de grave atît pentru operatorul care efectuează lucrarea, cît și pentru instalație:

— *la montarea sau demontarea siguranțelor,* îndeosebi a celor cu mare putere de rupere, distanțele dintre faze fiind de regulă foarte mici, *se pot provoca scurtcircuite* prin atingerea patroanelor de la două faze vecine;

— *la montarea siguranțelor într-o instalație în care nu a fost eliminat un scurtcircuit existent,* introducerea elementului fuzibil pe scurtcircuit *poate provoca explozia acestuia,* cu pericole foarte serioase de rănire a operatorului.

○○○ **Important.** Manipularea siguranțelor fuzibile cu mare putere de rupere se va face întotdeauna cu chei sau mînere speciale de montaj, operatorul avînd întotdeauna mănuși de protecție și — dacă este posibil — mască de protecție (în caz de introducere a siguranței pe un scurtcircuit existent, există atît pericolul exploziei patronului, cu formarea de cioburi de porțelan deosebit de periculoase, cît și pericolul formării unui arc electric, care poate provoca arsuri grave).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt avantajele și dezavantajele siguranțelor fuzibile cu element de protecție contra supraintensităților?

2 — Pe baza figurii 20.1, descrieți evoluția constructivă a siguranțelor fuzibile de joasă tensiune, arătînd la fiecare tip: avantajele, dezavantajele și domeniile actuale de utilizare.

3 — Ce sînt siguranțele fuzibile „inerte"?

4 — Care sînt măsurile de siguranță care se iau în exploatare pentru a se evita accidente provocate de siguranțele fuzibile?

Capitolul 21

INSTALAȚII PREFABRICATE DE JOASĂ TENSIUNE PENTRU DISTRIBUȚIA ENERGIEI ELECTRICE

● A. CELULE DE DISTRIBUȚIE DE JOASĂ TENSIUNE ● B. TABLOURI DE DISTRIBUȚIE ● C. DISTRIBUȚII INDUSTRIALE ● D. PUPITRE ȘI TABLOURI DE COMANDĂ

Extinderea mecanizărilor și a acționărilor electrice în toate ramurile industriale impune existența, aproape în fiecare atelier a unor *puncte de alimentare cu energie electrică.*

Aceste puncte de alimentare sînt formate, în general, din:

— unul sau mai multe cabluri de alimentare cu energie electrică;

— un sistem de bare colectoare, pe care debitează cablurile de alimentare;

— un număr de „plecări" în cablu, care leagă consumatorii la barele colectoare;

— aparate de manevră și protecție, aparate de măsurat etc.

Toate acestea sînt grupate în „celule" și „tablouri de distribuție" care, în funcție de mediul și condițiile de exploatare, pot fi executate în diferite grade de protecție.

În scopul reducerii timpului și manoperei de montaj și pentru a se obține o simplificare și ieftinire a costurilor de fabricație, majoritatea acestor instalații de distribuție de joasă tensiune se execută sub forma unor *instalații prefabricate din elemente tipizate.*

Majoritatea acestor instalații se pot grupa în una dintre următoarele categorii:

- *celule de distribuție de joasă tensiune;*
- *panouri de distribuție în execuție deschisă* (neprotejate);
- *tablouri de distribuție capsulate;*
- *tablouri de distribuție cu elemente debroșabile;*
- *distribuții industriale în canale tipizate;*
- *pupitre și tablouri de comandă.*

În cele ce urmează, se vor analiza particularitățile și domeniile de utilizare ale fiecăreia dintre aceste categorii de instalații prefabricate.

A. CELULE DE DISTRIBUȚIE DE JOASĂ TENSIUNE

1. PUNCTE DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ

Alimentarea principală cu energie electrică a unei secții sau a unui mare atelier de producție este adusă mai întîi la un punct de alimentare cu energie electrică, situat de obicei în incinta atelierului, dar într-o *încăpere sau îngrădire separată,* unde nu are acces decît personalul de deservire special însărcinat cu aceasta.

● **Construcția și principiul de funcționare.** Un astfel de punct de alimentare cu energie, format dintr-o „celulă de sosire" și patru „celule de plecare", este reprezentat în figura 21.1.

Energia electrică este adusă prin cablurile de alimentare *1* și, prin intermediul întreruptoarelor automate și al siguranțelor cu mare putere de rupere din celula respectivă, ajunge la barele colectoare *2,* realizate de obicei din profile de aluminiu.

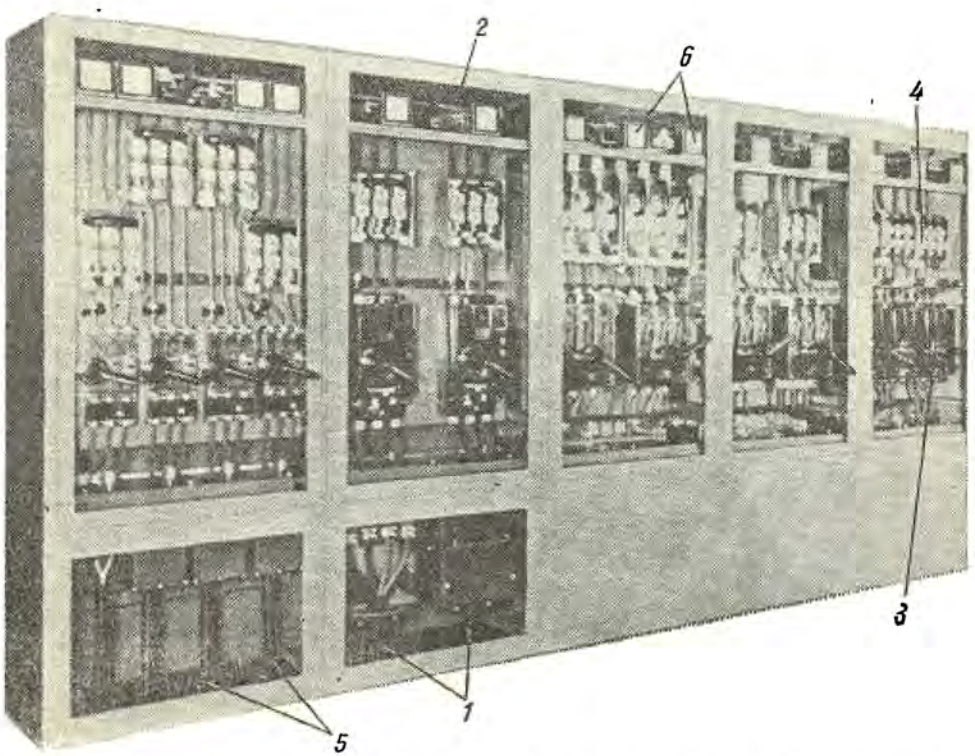


Fig. 21.1. Celule de distribuție realizate din panouri mari, cu grad redus de compartimentare și tipizare a elementelor:

1 — cabluri principale de alimentare; *2* — bare colectoare; *3* — întreruptoare automate; *4* — siguranțe fuzibile; *5* — cabluri de alimentare a consumatorilor; *6* — aparate de măsurat.

Aceste bare colectoare sînt comune pentru toate celulele şi de la ele se alimentează cosumatorii deserviţi de cele patru „celule de plecare", fiecare celulă avînd 2 ... 4 „plecări" prevăzute cu siguranţe fuzibile de protecţie (*4*), întreruptorul de comandă (*3*) şi cablul de plecare (*5*).

2. CELULE DE DISTRIBUŢIE

● **Construcţia.** Celulele propriu-zise, de construcţie unitară, sînt formate dintr-un cadru de susţinere metalic pe care sînt fixate bare transversale de susţinere a întreruptoarelor, siguranţelor şi a izolatoarelor suport pentru bare. Pereţii laterali sînt din tablă de oţel, iar la intensităţi foarte mari, din tablă de aluminiu.

În partea superioară se află „cutia de bare", avînd montate pe peretele frontal aparatele de măsurat (*6*) pentru supravegherea funcţionării instalaţiei.

Celulele se montează complet la fabricile de aparataj electric şi se transportă astfel la locul de utilizare, unde se montează doar barele colectoare (care se transportă separat) şi se fac legăturile electrice la cablurile de alimentare şi la cele de legătură la consumatori.

● Celulele de distribuţie reprezentate în figura 21.1 prezintă **avantajul** unei *supravegheri uşoare a stării aparatelor.*

● Ele au două **dezavantaje** importante:

— *celulele trebuie ferite de lovituri mecanice şi de intervenţiile unor persoane necalificate;* de aceea ele trebuie amplasate în încăperi speciale, închise şi deservite numai de personal calificat;

— neavînd compartimentări interioare, *se pot produce,* datorită unor avarii oarecare, *scurtcircuite grave* care să afecteze întreaga instalaţie.

B. TABLOURI DE DISTRIBUŢIE

1. PANOURI DE DISTRIBUŢIE ÎN EXECUŢIE NEPROTEJATĂ

Panourile de distribuţie neprotejate (fig. 21.2) se folosesc în prezent practic numai pentru aparatajul de comandă şi protecţie al grupurilor de ascensoare din clădirile mari. Ele se montează de obicei pe un schelet din profile de tablă, operaţia de montaj executîndu-se la locul de utilizare. Astfel de tablouri de distribuţie nu pot fi folosite decît acolo, unde echipamentul electric de comandă şi protecţie poate fi închis într-o încăpere separată, unde are acces, numai personalul calificat însărcinat cu supravegherea şi întreţinerea instalaţiei.

2. TABLOURI DE DISTRIBUŢIE CAPSULATE

Tablourile de distribuţie capsulate se folosesc pentru eliminarea dezavantajelor construcţiei neprotejate şi pentru a putea fi amplasate cît mai aproape de sălile de maşini sau, cînd este posibil, chiar în halele de producţie.

Ele sînt utilizate îndeosebi în atelierele mecanice, turnătorii, exploatări miniere şi, în general, acolo unde este necesar să se protejeze aparatele electrice împotriva prafului, umezelii şi loviturilor, precum şi în locurile în care este necesară manevrarea fără pericol a aparatelor, de către un personal fără cunoştinţe electrotehnice.

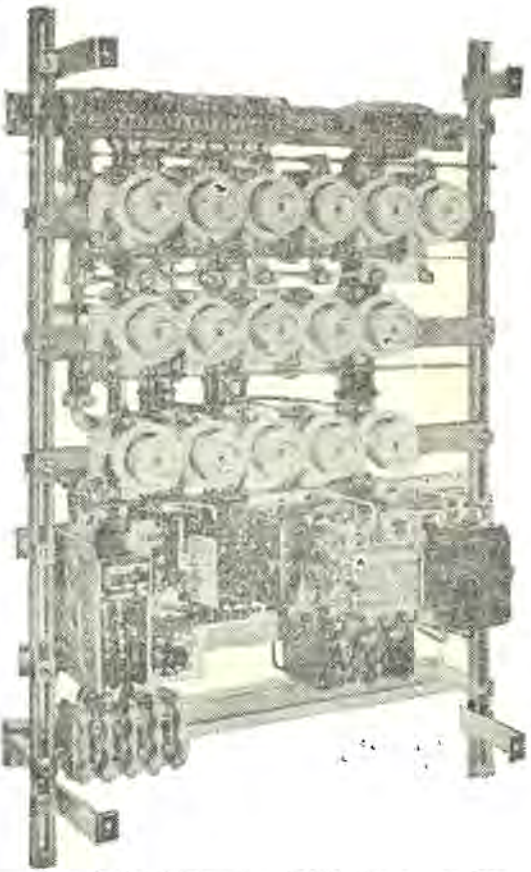


Fig. 21.2. Tablou de distribuţie neprotejat.

● **Construcţia.** Aceste tablouri de distribuţie, numite şi *cutii capsulate*, sînt formate dintr-un număr de cutii de diferite forme tipizate (cutii de bare, cutii de siguranţe, cutii de aparate de conectare manuală, cutii cu întreruptoare automate etc.), în care sînt montate, într-o anumită ordine funcţională (fig. 21.3 şi 21.4), aparatele electrice de conectare şi de protecţie. În general, ele sînt formate din următoarele elemente (fig. 21.4):

— una sau mai multe cutii de intrare a cablurilor de alimentare;

— un sistem de bare colectoare pe care debitează cablurile de alimentare, barele fiind adăpostite într-un canal format prin alipirea, în linie, a unui număr mai mare de „cutii de bare";

— un număr de „plecări" în cablu, care leagă consumatorii la barele colectoare. În circuitul acestora sînt introduse cutii conţinînd aparatele de conectare a circuitului respectiv, aparatele de măsurat şi aparatele de protecţie.

Toate aceste cutii sînt rezistente din punct de vedere mecanic şi etanşe la praf. Ele sînt executate din tablă de oţel sudată sau prin turnare din fontă sau din silumin şi, mai recent, prin presare din mase plastice termoreactive cu mare rezistenţă termică şi mecanică.

● **Avantajele** cutiilor din materiale plastice sînt îndeosebi următoarele:

— fiind executate din material electroizolant, *se pot accepta distanţe mult mai mici între piesele sub tensiune şi pereţii cutiei*, de unde rezultă dimensiuni şi greutăţi mult mai mici decît ale cutiilor metalice construite pentru acelaşi curent nominal;

— *pericolul de electrocutare a personalului* datorită degradării izolaţiei aparatelor din interior este *practic complet eliminat*;

— *nu necesită vopsire* nefiind supuse coroziunii.

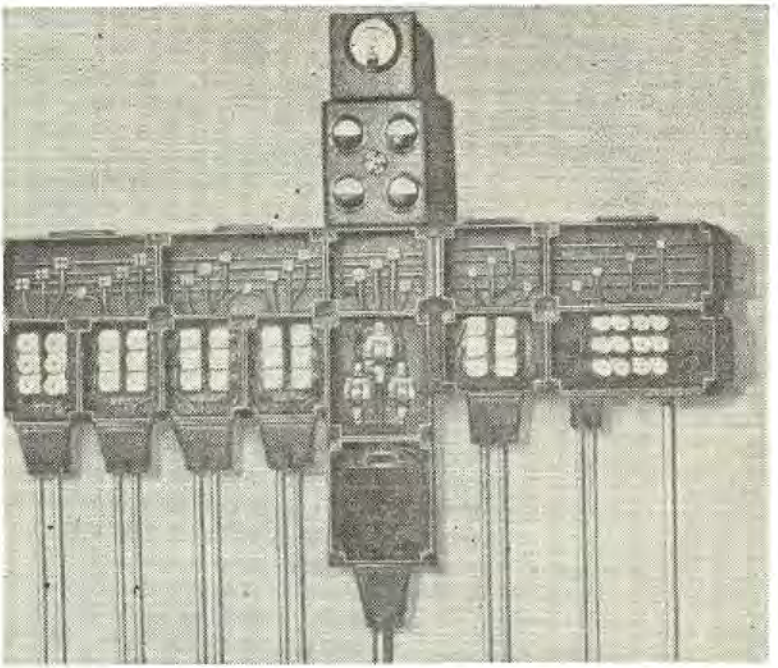


Fig. 21.3. Tablou de distribuție capsulat, prevăzut cu protecția circuitelor de plecare prin siguranțe fuzibile (capacele au fost înlăturate pentru a se vedea interiorul).

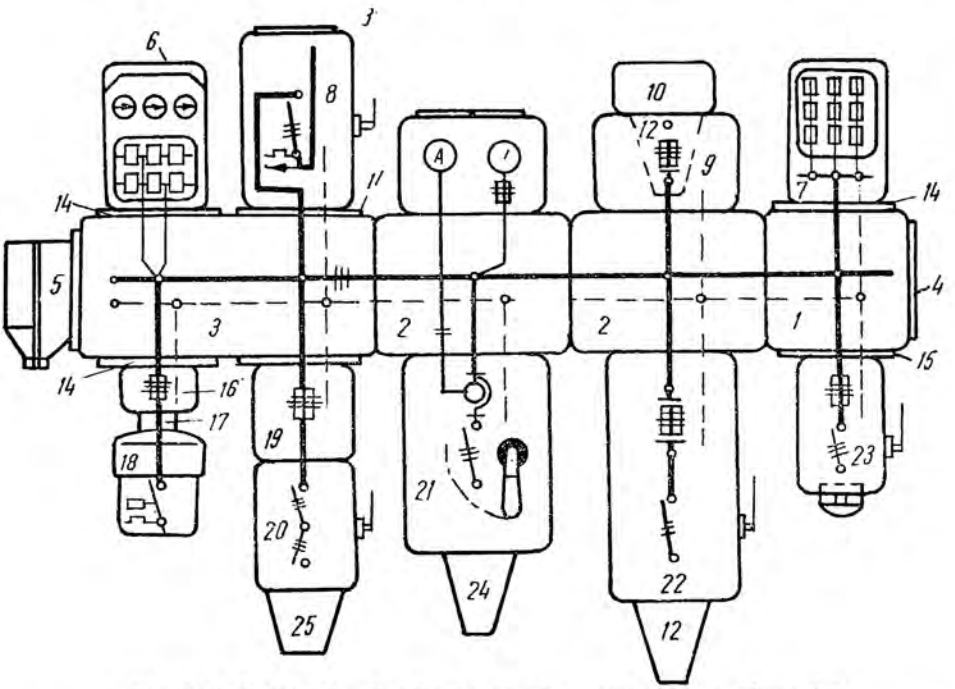


Fig. 21.4. Tablou de distribuție capsulat, reprezentare schematică:

1, 2 și *3* — cutii de bare; *4* — flanșă de închidere laterală; *5, 10, 12, 24* și *25* — cutii de cablu; *6* — cutii de alimentare pentru circuite de lumină; *7* — cutii de alimentare pentru circuite de forță; *8* — cutie cu automat de protecție în aer; *9*, *16* și *19* — cutii cu siguranțe de protecție a cablului; *11* — cutie cu aparate de măsurat; *13, 14, 15* și *17* — flanșe de prindere; *18* — contactor în ulei; *20, 21, 22* și *23* — cutii cu întreruptor pîrghie.

Fig. 21.5. Tablouri de distribuție capsulate — elemente componente:

a — element de cutie din fontă; *b* — cutii asamblate pentru montaj; *c* — cutie de bare; *d* și *f* — cutii de siguranțe; *e* — cutie cu întreruptor-pîrghie; *g* — cutie cu aparate de măsură; *h* — aceeași cutie deschisă; *i* — cutie de comandă și protecție a unui motor prin contactor în ulei și siguranțe; *j* — aceeași cutie închisă; *k* — accesorii de montaj.

● Pe lîngă avantajele pe care le prezintă în raport cu tablourile de distribuție neprotejate (deschise), tablourile capsulate au și o serie de **dezavantaje,** printre care:

— *sînt dificil de transportat complet asamblate,* astfel încît o parte importantă a lucrărilor de montaj urmează a se efectua la locul de utilizare;

— *au consum mare de metal și de manoperă;*

— *sînt standardizate numai cutiile*, ca volum şi eventual ca destinaţie generală, montajul interior urmînd să se facă diferit de la caz la caz;

— *în caz de revizii şi reparaţii sau înlocuiri de aparate, trebuie scos de sub tensiune întregul tablou;*

— *sînt puţin estetice.*

În figura 21.5 sînt reprezentate principalele elemente componente ale tablourilor de distribuţie capsulate.

3. TABLOURI DE DISTRIBUŢIE CU ELEMENTE DEBROŞABILE

Tablourile de distribuţie prefabricate, cu elemente debroşabile (fig. 21.6), au fost create pentru a se remedia neajunsurile menţionate şi îndeosebi pentru a se reduce timpul de montaj şi control, precum şi pe cel necesar pentru revizia şi întreţinerea instalaţiei.

● **Construcţia şi principiul de funcţionare** (fig. 21.7 şi 21.8). Partea din faţă a tabloului *este compartimentată* într-un număr mare de locaşuri de dimensiuni standardizate, conţinînd sertarele 5 debroşabile, prevăzute cu dispozitivul telescopic de ghidare *10*. Aceste sertare pot culisa, conectarea aparatelor din fiecare sertar la circuitele electrice de alimentare făcîndu-se în mod automat, la introducerea sertarului în poziţia de lucru, cu ajutorul unor contacte tip cuţit-furcă sau tip lalea (v. fig. 21.6 şi 21.8).

Fiecare sertar conţine toate aparatele necesare comenzii şi protecţiei unui anumit circuit — de exemplu, un sertar destinat comenzii unui motor electric conţine (fig. 21.8, *a*):

— contactorul de comandă a circuitului;

— un releu termic de protecţie a motorului de suprasarcină;

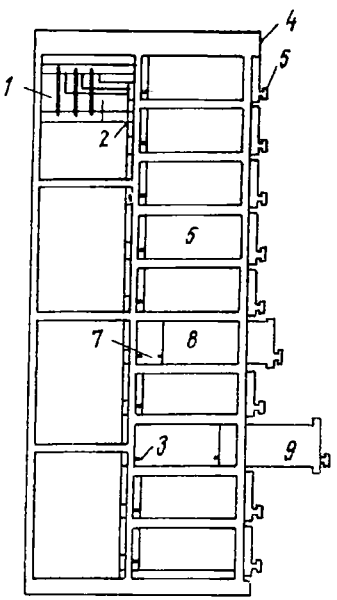


Fig. 21.6. Schema de principiu a unui tablou de distribuţie prefabricat, cu elemente debroşabile, avînd sertare cu contactoare:
1 — bare colectoare de distribuţie; *2* — conductoare de alimentare a sertarelor; *3* — contacte principale fixe, debroşabile; *4* — partea frontală, destinată amplasării aparatelor de măsură şi supraveghere a circuitului general de alimentare; *5* — sertar închis; *6* — manetă de blocare; *7* — contacte principale mobile, debroşabile; *8* — sertar deschis în poziţia de verificare a circuitelor secundare; *9* — sertar deschis în poziţia de revizie şi întreţinere a aparatelor.

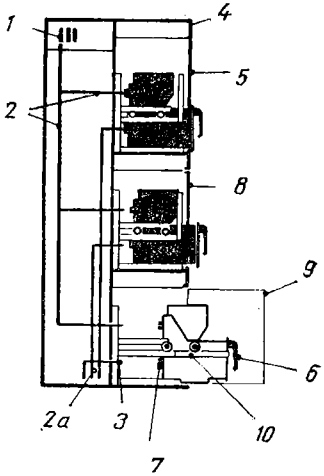


Fig. 21.7. Panou de distribuţie prefabricat cu elemente debroşabile, avînd sertare cu întreruptoare automate — schemă de principiu.

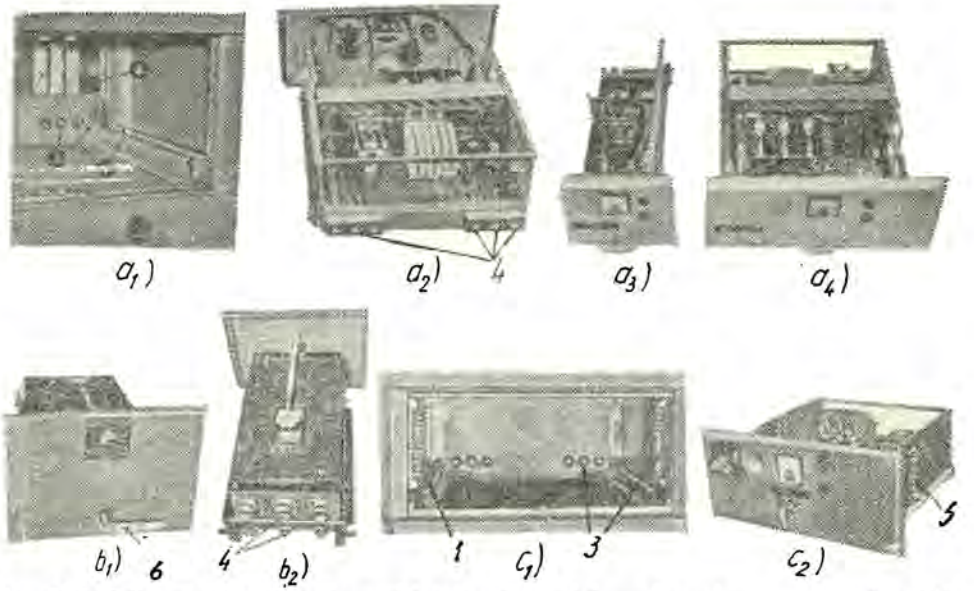


Fig. 21.8. Tablouri de distribuție prefabricate debroșabile — elemente componente (notațiile a, b și c indică soluții tehnice ușor diferite, deoarece sînt ale unor producători diferiți):

a și c_1 — casete (partea fixă); a_1 — sertar (văzut din spate) cu elemente pentru comanda și supravegherea unui motor electric pentru 100 A; a_3 și a_4 — sertare similare pentru 15 și 40 A; b_1 — sertar cu întreruptor tip compact acționat manual; b_2 — același sertar văzut din spate pentru a se distinge mai bine modul de acționare; c_2 — sertar pentru comandă motor (prevăzut cu contactor, bloc de relee termice, siguranțe fuzibile de mare putere, butoane de comandă, lămpi de semnalizare și ampermetru), similar cu a_3.

1 — profile de ghidare a mișcării sertarului mobil; *2* — barele de alimentare a circuitelor principale; *3* — contactele debroșabile fixe (la mijloc contactele circuitelor de forță, în dreapta cele ale circuitelor auxiliare de comandă și semnalizare); *4* — contacte debroșabile mobile ale circuitului principal; *5* — idem, ale circuitelor auxiliare; *6* — manetă de acționare cu cheie de blocaj.

— trei siguranțe fuzibile pentru protecția instalației împotriva scurt-circuitelor produse în circuitul alimentat;

— siguranțe fuzibile pentru protecția circuitelor de comandă;

— butoane de comandă a contactorului și lămpi de semnalizare (montate pe peretele frontal al sertarului);

— eventual, un aparat de măsurat.

Fiecare sertar, indiferent de destinația sa, cuprinde, de asemenea, șase contacte (trei de intrare și trei de ieșire) debroșabile, tip lalea sau tip deget, pentru circuitul principal, și un număr de contacte pentru circuitele de comandă, control și semnalizare (fig. 21.8): de asemenea, este prevăzut cu o manetă de închidere și deschidere a sertarului (poziția *6*, fig. 21.7 și 21.8).

Cu ajutorul unei chei, maneta poate fi blocată în poziția „închis", astfel încît sertarul să nu poată fi deschis decît de către personalul calificat însărcinat cu aceasta. La deschidere, prin rotirea manetei, un dispozitiv interior de zăvorîre electrică și mecanică determină automat deschiderea contactorului, respectiv a întreruptorului automat al casetei, astfel încît sertarul să nu poată fi manevrat (deschis) decît în situația în care circuitul electric deservit este întrerupt.

Legătura dintre aparatele aflate în interiorul fiecărui sertar, circuitele de alimentare și cele deservite, se face numai prin intermediul unor contacte debroșabile, astfel dispuse încît:

— în situația în care *sertarul* este *complet introdus* în compartiment și maneta este închisă (poziția 5, fig. 21.6 și 21.7), atît contactele principale cît și cele secundare sînt închise, așa încît cu ajutorul butoanelor de comandă de pe peretele frontal al sertarului, se poate comanda închiderea sau deschiderea circuitului alimentat;

— în situația *sertar deschis pentru verificarea circuitelor* (v. poziția *8*, fig. 21.6), maneta este deblocată și sertarul este tras puțin afară; în această poziție, contactele principale sînt debroșate, deci circuitul principal este întrerupt, dar contactele auxiliare se mențin încă închise ceea ce permite verificarea electrică și funcțională a circuitelor de comandă și semnalizare, fără a afecta restul instalației;

— în situația *sertar deschis pentru revizie* (poziția *9*, fig. 21.6 și 21.7), atît circuitele principale cît și cele secundare sînt întrerupte, putîndu-se efectua lucrări de revizie și întreținere a aparatelor și circuitelor din sertarul respectiv. În cazul în care reparațiile necesare cer mai mult timp, se scoate complet sertarul respectiv, înlocuindu-se cu un alt sertar similar de rezervă.

Fiecare sertar al tabloului este alimentat de la barele colectoare *1*, montate de obicei în spatele tabloului, în partea de sus, prin intermediul barelor verticale *2*, la care sînt montate contactele fixe *3* de intrare ale fiecărui sertar. Legătura la circuitul deservit se face prin intermediul cablurilor *2a*.

Barele colectoare primesc la rîndul lor energia electrică de la un transformator sau de la o cutie de cablu, montate în interiorul tabloului.

● **Avantajele** pe care le prezintă tablourile de distribuție cu elemente debroșabile față de celelalte sisteme de distribuție industriale, sînt următoarele:

— *se reduce manopera de execuție a tabloului* prin tipizarea sertarelor, care *dă posibilitatea asamblării lor în serie* ca subansambluri independente;

— *se reduc substanțial lucrările de montaj* la locul de utilizare;

— *se realizează un grad avansat de siguranță în funcționarea instalației*, deoarece:

• avariile sau scurtcircuitele ce ar apărea într-unul dintre sertare nu se pot propaga la restul instalației;

• sertarele ce prezintă defecțiuni de funcționare pot fi înlocuite imediat prin sertare de rezervă și astfel timpul de întrerupere a alimentării este minim;

• lucrările de verificare și întreținere se pot face ușor, fără pericole pentru personalul de întreținere și fără a afecta continuitatea alimentării în restul instalației.

Aspectul general al unui tablou de distribuție cu elemente debroșabile este prezentat în figura 21.9.

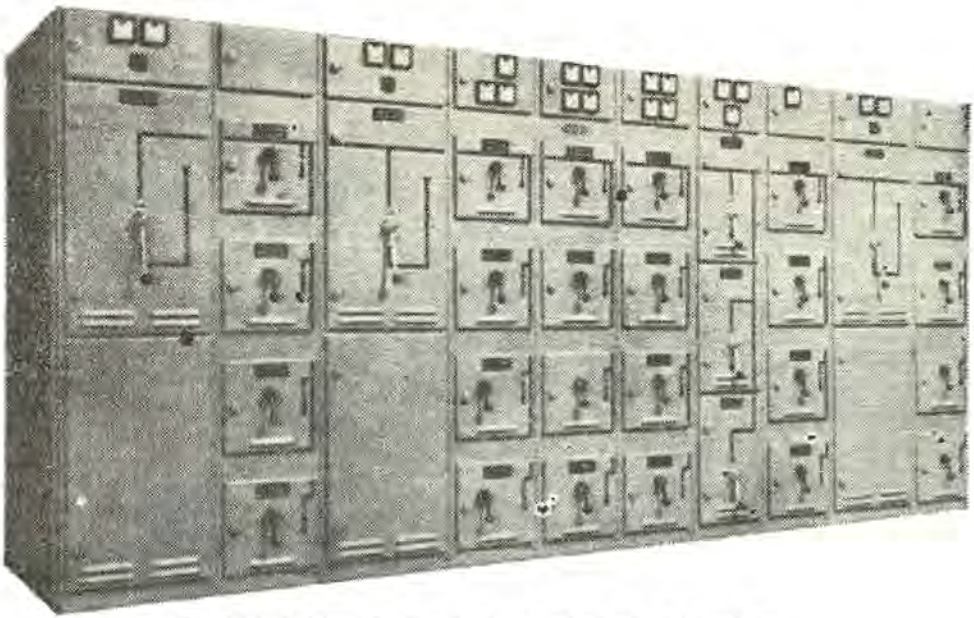


Fig. 21.9. Tablou de distribuție cu elemente debroșabile.

C. DISTRIBUȚII INDUSTRIALE

1. DISTRIBUȚII PRIN CANALE DE CABLURI

Atît tablourile de distribuție capsulate, cît și cele cu elemente debroșabile, se caracterizează prin aceea că *elementele de comandă și protecție a consumatorilor individuali sînt concentrate în tabloul de distribuție*, de unde alimentarea pînă la consumatorul (motorul) respectiv se realizează cu ajutorul unor cabluri izolate conduse prin canale de cabluri special prevăzute în planșeul atelierului respectiv.

Acest mod de distribuție are și unele *dezavantaje*, printre care:

— distribuția energiei la mașini se face prin canalele de cabluri subterane, ceea ce determină *cheltuieli de construcție importante* și, îndeosebi, odată aceste canale de cabluri realizate, *modificările ulterioare ale amplasamentului inițial al mașinilor în ateliere sînt foarte costisitoare și necesită mult timp;*

— însuși *tabloul de distribuție*, o dată realizat, *se pretează greu la modificări*, astfel încît adăugarea ulterioară a unor noi consumatori este dificilă.

Acest dezavantaj, împreună cu cel precedent, dau sistemului de distribuție prin cutii capsulate și celui cu elemente debroște un caracter pronunțat de rigiditate (în ceea ce privește modificările ulterioare ale numărului și amplasării consumatorilor în atelierele respective).

În general, la aceste tablouri comanda punerii și scoaterii de sub tensiune a consumatorilor este prevăzută a se face de la tablou. Există în cazul contactoarelor și posibilitatea comenzilor de la distanță, dar aceasta mărește mult lungimea circuitelor de comandă, ceea ce complică instalația și poate determina funcționarea necorespunzătoare a contactoarelor.

Pentru a se remedia deficiențele semnalate, au fost create sisteme de distribuție prin bare capsulate aeriene (fig. 21.10).

● **Principiul de funcționare** este următorul:

— de la un sistem de distribuție central, similar celui prezentat în figura 21.2, alimentarea cu energie este condusă direct în ateliere cu ajutorul unor bare de distribuție *7*, montate izolat în interiorul unor tuburi din tablă *1* și *2* suspendate la mică distanță sub plafonul halelor;

— tuburile de distribuție secundară *2* sînt prevăzute la distanțe mici (0,5 m), cu orificii prin care se pot conecta cutii de derivație *4*, prevăzute cu siguranțe fuzibile și cu un sistem de separare a circuitului (întreruptor pîrghie, întreruptor-pachet sau siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere, astfel montate pe capac încît pot îndeplini și funcția de separator) (fig. 21.10, *c*);

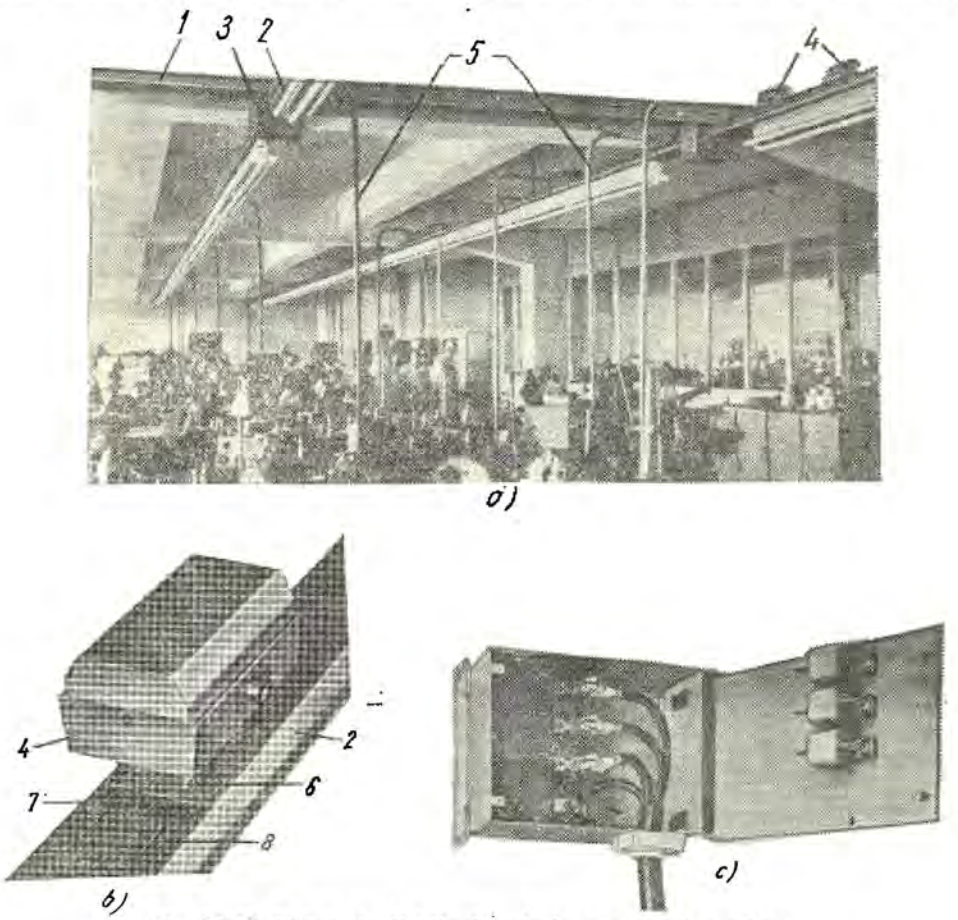


Fig. 21.10. Sistem de distribuție prin bare capsulate aeriene:

a — vedere de ansamblu; *b* — detaliu; *c* — cutie de derivație deschisă.

1 și *2* — tuburi din tablă pentru trecerea barelor de distribuție; *3* — cutie de ramificație; *4* — cutii de derivație; *5* — conducte de derivație; *6* — știfturi de contact; *7* — bare conductoare de curent; *8* — clapetă de închidere a orificiului de acces la piesele sub tensiune.

— de la cutia de derivație, un cablu izolat coboară direct, prin interiorul unui tub de protecție *5*, la panoul electric al mașinii respective.

● **Avantajele** principale ale acestui sistem de distribuție sînt următoarele:

— *se elimină costisitoarele canale de cabluri*, lăsîndu-se în același timp o libertate mult mai mare în amplasarea mașinilor (se poate oricînd schimba poziția sau ordinea mașinilor); introducerea în fluxul tehnologic al unei mașini noi sau deplasarea poziției unei mașini existente comportă numai montarea sau deplasarea unei cutii de derivație, ceea ce se face fără cheltuieli mari și fără a perturba alimentarea celorlalți consumatori;

— barele de distribuție realizîndu-se din lungimi standardizate prefabricate, *se poate face o economie mare de manoperă*, atît în procesul de fabricație, cît și în cel de montaj;

— numărul de elemente componente distincte fiind mic, *stocul de piese de rezervă este redus*, iar elementele instalate pot fi refolosite chiar în cazul unor modificări radicale ale atelierelor de producție;

— barele de distribuție servesc concomitent și drept suport pentru instalația de iluminat general a atelierului, ceea ce permite de asemenea realizarea unor *economii în costul instalațiilor*;

— cutiile de derivație sînt prevăzute de obicei cu siguranțe de protecție, restul aparatelor de comandă fiind amplasate în tabloul electric al mașinii respective, *ceea ce ușurează comanda și supravegherea acestora.*

D. PUPITRE ȘI TABLOURI DE COMANDĂ

În instalațiile industriale importante, cum ar fi, de exemplu, o instalație de laminare, instalații din industria chimică, există un număr important de motoare care trebuie comandate după un anumit program, în funcție de parametrii procesului tehnologic.

Dacă motoarele sînt comandate prin contactoare, apare marele avantaj de a amplasa contactoarele în apropierea motorului comandat, concentrînd însă toate comenzile la un **pupitru central de comandă și supraveghere.**

Aceste pupitre de comandă sînt prevăzute cu:

— *aparate de măsură*, care indică valorile anumitor parametri de funcționare a instalației;

— *lămpi de semnalizare*, care indică situații ale instalației (funcționarea unui ventilator, pornirea sau oprirea unui anumit proces tehnologic, atingerea unui anumit prag de alarmă etc.);

— *butoanele de comandă*, prin intermediul cărora se comandă contactoare sau alte aparate cu comandă la distanță, pentru desfășurarea normală a procesului de fabricație supravegheat.

Este caracteristic pupitrelor de comandă că:

— nu conțin decît elementele de „circuite secundare" (de comandă și semnalizare);

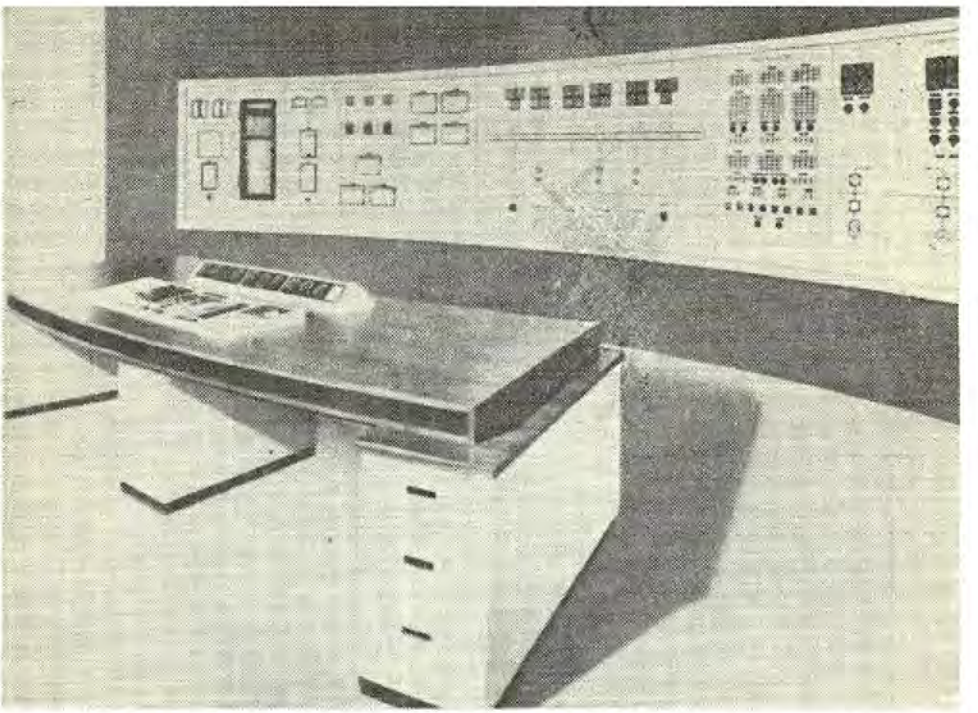


Fig. 21.11. Panouri de supraveghere și pupitru de comandă al unei mici centrale hidraulice.

— trebuie să corespundă întotdeauna unei *utilizări specifice*, fabricîndu-se întotdeauna ca unicate;

— sînt amplasate de obicei la distanță mare de instalația de comandă (de exemplu, în cazul posturilor de comandă a unor mici centrale hidraulice, la zeci de kilometri de acestea).

Aspectul unui post de comandă cu panouri de control și pupitru de comandă este reprezentat în figura 21.11.

Capitolul 22

APARATE ELECTRICE FOLOSITE ÎN INSTALAȚIILE DE UZ CASNIC (APARATAJ DE INSTALAȚII)

● A. APARATE DE RACORD LA REȚEA ● B. APARATE DE CONECTARE
● C. APARATE DE PROTECȚIE

În circuitele de alimentare cu energie electrică a consumatorilor din interiorul locuințelor, de exemplu a corpurilor de iluminat, aparatelor electrocalorice (fiare de călcat, plite, fierbătoare electrice), ventilatoarelor, frigiderelor, aparatelor de radio și de televiziune, mașinilor electrice de spălat etc., se folosesc trei categorii de aparate electrice:

- *aparate de racord la rețea* (prize, fișe și cuple);
- *aparate de conectare* (întreruptoare, comutatoare);
- *aparate de protecție* (întreruptoare automate de instalații, siguranțe).

A. APARATE DE RACORD LA REȚEA

Prizele și fișele sînt cele mai simple aparate de racord la rețea al consumatorilor mobili (fiare de călcat, radiatoare, aspiratoare, aparate de radio). *Prizele* fac parte din instalația fixă, fiind permanent sub tensiune, iar fișele rămîn legate la consumatorul mobil prin intermediul unui conductor flexibil izolat; punerea sub tensiune a consumatorului se face prin conectarea fișei în priză.

1. PRIZE

● Diferite **tipuri constructive** de prize sînt reprezentate în figura 22.1 (priză bipolară aparentă, îngropată, aparentă cu contact de protecție și în execuție etanșă).

După modul de montare, prizele pot fi: *aparente* sau *îngropate.*

După modul de protecție, ele pot fi: *normale; impermeabile* sub tencuială, avînd capac de porțelan; *capsulate în carcasă metalică, capsulate în carcase de bachelită.*

După numărul fazelor conectate, ele pot fi: *monofazate cu doi poli; monofazate cu doi poli și contact de protecție; trifazate cu trei poli și trifazate cu trei poli și contact de protecție.*

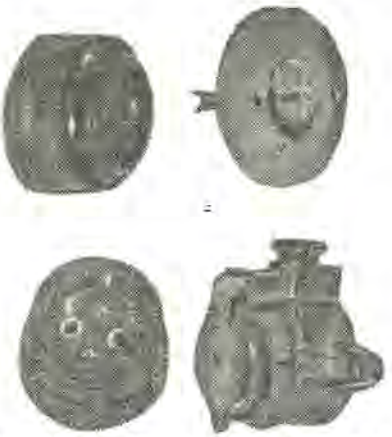


Fig. 22.1. Prize bipolare de instalaţii — tipuri constructive.

● Oricare ar fi tipul constructiv, priza are în componenţa sa următoarele **elemente funcţionale**:

— *soclul*, din material izolant cu o bună comportare termică şi rezistent la conturnare (bachelită, porţelan sau steatit); de soclu sînt fixate toate celelalte elemente;

— *piesele de contact cu fişa*, din tablă de alamă ambutisată;

— *bornele* de racord la circuitul exterior, din bare profilate de alamă sau din tablă de alamă;

— *capacul de protecţie*, din aminoplast, bachelită sau porţelan;

— *elementele de fixare mecanică* a prizei cu suportul său;

— *resoartele* pentru asigurarea presiunii în contacte;

— *şuruburile de fixare şi şuruburile de contact.*

2. FIŞE

Fişa este partea care stabileşte, prin intermediul unor conductoare flexibile, legătura electrică a consumatorului mobil la sursa de tensiune.

● **Tipuri de fişe.** Corespunzător execuţiei prizelor, fişele pot fi:

— *bipolare simple;*

— *bipolare cu contact de protecţie;*

— *bipolare cu sau fără contacte de protecţie*, pentru aparate electrocalorice;

— *tripolare cu contact de protecţie.*

Prizele şi fişele bipolare se construiesc, de obicei, pentru 10 A şi 250 V. Prizele şi fişele tripolare se construiesc pentru 10, 16 şi 25 A, şi 250 V.

● **Construcţia.** Orice fişă este formată (fig. 22.2) din:

— *ştifturile de contact;*

— *piesele de fixare* a conductoarelor la ştifturi;

— *piesele izolante* din bachelită;

— *brida pentru prinderea mecanică* a conductoarelor.

B. APARATE DE CONECTARE

Intreruptoarele şi **comutatoarele** de instalaţii servesc îndeosebi pentru conectarea şi deconectarea circuitelor de lumină, dar sînt uneori montate şi pe consumatori mobili (aspiratoare, radiatoare, plite electrice).

● **Soluţiile constructive** sînt numeroase (fig. 22.3). Comutarea se face fie prin rotirea unui buton — *întreruptoare şi comutatoare rotative* — fie prin bascularea unei pîrghii — *întreruptoare basculante, întreruptoare cumpănă* (construcţiile nu sînt identice).

a) *b)*

Fig. 22.2. Fișe de racord la aparate electrocalorice:
a — construcție cu contact de protecție; *b* — construcție fără contact de protecție.

Fig. 22.3. Întreruptoare și comutatoare de instalații — tipuri constructive.

Dintre acestea, se răspîndesc din ce în ce mai mult întreruptoarele de tip cumpănă, care prezintă o serie de avantaje față de întreruptoarele rotative, și anume: manevrare mult mai ușoară, funcționare mai liniștită, spațiu necesar mult mai mic, consum mai redus de materiale și longevitate mai mare (200 ... 250 mii de manevre, față de 20 ... 25 mii de manevre). Întreruptoarele rotative au însă o putere de rupere mai mare, fiind singurele care pot fi utilizate și în instalații de curent continuu; ele permit o etanșare mai ușoară în mediu cu praf.

După modul de instalare, întreruptoarele și comutatoarele pot fi:
— *pentru montare aparentă* (pe tencuială);
— *pentru montare îngropată* (sub tencuială);
— cu construcție plată, *pentru instalații în tencuială**.

Aparatele pentru montare îngropată se introduc în cutii speciale, numite *doze* de aparate, îngropate în perete și executate din tablă de oțel plumbuită sau din materiale plastice.

---

* La aceste instalații, conductele electrice sînt montate direct în stratul subțire de tencuială, fără tuburi de protecție. Aparatajul de comutație folosit este pentru montarea aparentă, dar de construcție specială, cu înălțimea redusă.

După modul de protecție a aparatului împotriva loviturilor mecanice sau a pătrunderii umidității, se deosebesc:

— *aparate normale*, avînd carcasa din bachelită sau din porțelan;

— *aparate impermeabile sub tencuială*, destinate instalării în băi, bucătării sau alte spații similare cu atmosferă bogată în vapori de apă; ele au capacul și butonul din porțelan, prevăzute și cu garnituri speciale de cauciuc, pentru a nu pătrunde umiditatea în aparat;

— *aparate capsulate în carcasă metalică*, destinate a fi folosite în exterior sau în alte locuri unde aparatul ar putea fi deteriorat prin lovire (grajduri, ateliere etc.); ele sînt aparate normale introduse într-o carcasă metalică (fontă, aluminiu etc.);

— *aparate capsulate în carcasă de bachelită*, de construcție aparentă, destinate a fi folosite în spații umede (subsoluri, pivnițe etc.); sînt prevăzute cu garnituri de etanșare din cauciuc.

După schema de conexiuni realizată (tab. 22.1), se deosebesc:

— *întreruptoare pentru aprinderea și stingerea dintr-un singur punct* a unei lămpi sau a unui grup de lămpi;

— *comutatoare-grup*, care servesc *pentru aprinderea și stingerea succesivă a două lămpi sau a două grupuri de lămpi*, astfel încît, cînd un grup este stins celălalt să fie aprins;

— *comutatoare-serie* (de lustre), care servesc *pentru aprinderea și stingerea succesivă a două grupuri de lămpi, putînd fi aprinse sau stinse atît separat, cît și succesiv;*

— *comutatoare de scară (de capăt)*, care servesc *pentru a aprinde și stinge o lampă sau un grup de lămpi din două puncte diferite;*

— *comutatoare cruce*, care împreună cu două comutatoare de scară servesc *pentru aprinderea sau stingerea unui grup de lămpi din mai multe puncte diferite.*

Întreruptoarele și comutatoarele de instalații se construiesc pentru tensiunea nominală de 250 V și curentul nominal de 6 A sau 10 A.

● Oricare ar fi varianta constructivă de întreruptor sau comutator, el are în componența sa următoarele **elemente constructive**:

— *soclul*, realizat prin presare din materiale plastice termoreactive;

— *capacul și butonul de acționare*, realizate prin injecție din rășini termoplaste, prin presare din prafuri bachelitice sau din aminoplaste (soluția cea mai frecventă folosită) și din porțelan (numai în cazul folosirii în localuri cu umezeală mare);

— *contactele de întrerupere*, executate din tablă de tombac sau alamă tare, ștanțată și ambutisată — la întreruptoarele rotative, sau din nituri de argint — la întreruptoarele cumpănă;

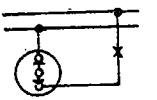
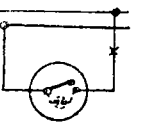
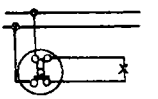
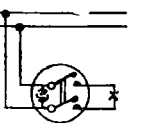
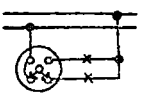
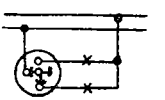
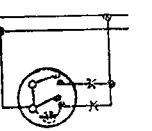
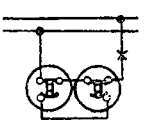
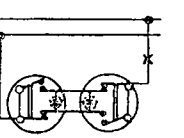
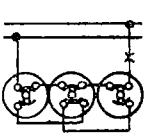
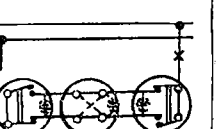
— *bornele de racord* la circuitul exterior, din profile de alamă;

— *elementele de fixare mecanică* a întreruptorului în doza de aparat (la întreruptoarele și comutatoarele ce se montează îngropat);

— *mecanismul de sacadare*, pentru realizarea întreruperii bruște;

— *șuruburile de fixare și șuruburile de contact.*

Scheme de conexiuni utilizate la comutatoarele de instalații

Figura	Denumirea conexiunii și domeniul de utilizare	Schema legăturilor electrice	
		la comutator rotativ	la comutator cumpănă*
a	*Întrerupător monopolar*		
b	*Întreruptor bipolar*		
c	*Comutator grup monopolar* (servește la conectarea și deconectarea succesivă a doi consumatori care nu pot fi alimentați simultan)		
d	*Comutator serie monopolar* (servește la conectarea și deconectarea succesivă a doi consumatori care pot fi alimentați și simultan)		
e	*Comutator scară* (servește la conectarea sau deconectarea unui singur consumator, din două puncte diferite)		
f	*Comutatoare cruce* (în asociație cu două comutatoare tip scară servesc la conectarea și deconectarea unui singur consumator, din mai multe puncte diferite)		

* Punctat este reprezentată schema legăturilor în cazul comutatoarelor care au în interior o lampă „de orientare".

C. APARATE DE PROTECȚIE

Protecția instalațiilor electrice interioare împotriva solicitărilor termice provocate de suprasarcini și scurtcircuite se poate realiza atît cu ajutorul *siguranțelor fuzibile cu filet* (studiate în capitolul 18), cît și cu al unor *întreruptoare automate de instalații*. Acestea din urmă funcționează după principiul cunoscut al întreruptoarelor automate, și anume:

— închiderea este manuală;

— menținerea contactelor mobile în poziția „închis" se realizează cu ajutorul unui zăvor mecanic;

— declanșarea poate fi voită (prin acționarea unui buton sau a unei pîrghii de acționare) sau automată (la comanda unui releu termic sau a unui releu electromagnetic). Ele sînt realizate, de obicei, în construcția monopolară.

● **Avantajele întreruptoarelor automate în raport cu siguranțele fuzibile cu filet** sînt:

— posibilitatea de restabilire imediată a curentului, fără a se pierde timpul necesar găsirii și montării unui patron nou în locul celui ars;

— nu mai este necesar un stoc de patroane de rezervă și îndeosebi, se evită pericolul pe care îl reprezintă pentru securitatea locuințelor și a instalațiilor, înlocuirea fuzibilelor arse prin fuzibile improvizate din fire groase de cupru;

— se poate obține și o protecție eficace împotriva suprasarcinilor, lucru practic irealizabil cu siguranțe fuzibile rapide, așa cum sînt siguranțele cu filet;

— se poate regla la fața locului curentul de declanșare al automatului în funcție de curentul real de serviciu al instalației, ceea ce îmbunătățește mult eficacitatea și viteza de execuție a protecției.

● **Dezavantaje.** Întreruptoarele automate de instalații au o construcție mult mai complicată și sînt în consecință mai scumpe.

Întreruptoarele automate de instalații se construiesc pentru intensitățile nominale de 6...25 A.

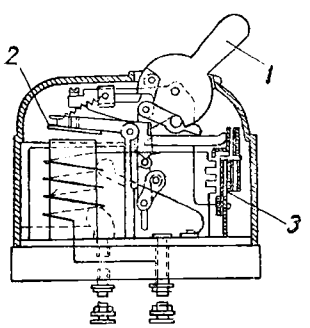


Fig. 22.4. Întreruptor automat de instalații, cu acționare prin pîrghie basculantă:
1 — pîrghie de acționare; *2* — releu electromagnetic; *3* — releu termic.

● Se deosebesc două **tipuri constructive:**

— *automate monopolare de instalații* (fig. 22.4), acționate fie prin pîrghie, fie prin butoane, și fixate direct pe tablouri, înlocuind complet siguranțele fuzibile;

— *siguranțe automate* (fig. 22.5), prevăzute cu filet Edison, putîndu-se înșuruba în soclurile de siguranță de pe tablourile cu siguranțe existente în instalații. Din punctul de vedere al principiului de funcționare și al modului de producție, nu se deosebesc prin nimic de automatele monopolare, deosebirea constînd numai în *modul de fixare* pe tablou (prin înșurubare); ele sînt acționate întotdeauna prin buton.

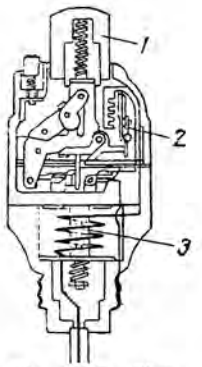


Fig. 22.5. Siguranță automată:
1 — buton de închidere; *2* — releu termic; *3* — releu electromagnetic.

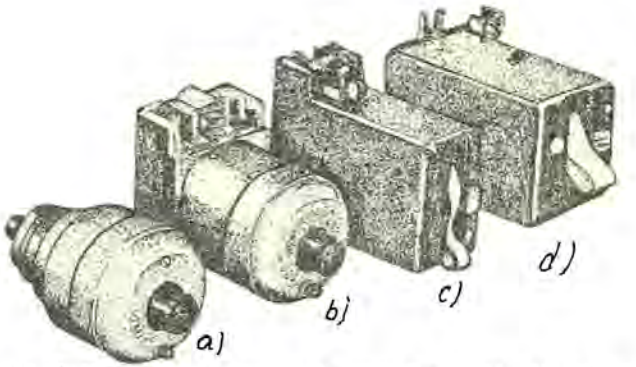


Fig. 22.6. Întreruptoare automate de instalații — diferite tipuri constructive.

În figura 22.6 este prezentată o *familie de întreruptoare automate de instalație*, avînd la bază aceeași construcție; ele sînt, în ordinea alfabetică a literelor de sub ele (*a, b, c, d*):

— siguranța automată (cu filet) de 10 A — 250 V; butonul mare servește pentru conectare, iar butonul mic, de jos, pentru deconectare voită;

— automat monopolar, avînd aceeași construcție cu siguranța automată, dar fixare prin soclu propriu;

— automat monopolar de 10 A — 250 V, cu acționare prin pîrghie basculantă;

— automat monopolar de aceeași construcție cu cel precedent, dar construit pentru 25 A — 250 V.

Capitolul 23

VARIANTE CONSTRUCTIVE CORESPUNZĂTOARE CONDIȚIILOR DE MEDIU ÎN CARE LUCREAZĂ APARATELE ELECTRICE

● A. FACTORII DE MEDIU CARE INFLUENȚEAZĂ FUNCȚIONAREA APARATELOR ELECTRICE ● B. INFLUENȚA FUNCȚIONĂRII APARATELOR, ASUPRA MEDIULUI EXTERIOR ● C. PROTEJAREA APARATELOR FAȚĂ DE CONDIȚIILE DE MEDIU ● D. TIPURI DE PROTECȚIE

Pentru ca aparatele electrice să funcționeze corect și să poată fi folosite fără riscuri, este necesar să fie îndeplinite concomitent două condiții:

● *aparatul să fie ferit* de solicitările fizice, chimice și mecanice provocate *de acțiunea complexă a mediului exterior* (a se revedea capitolul 3);

● *mediul exterior să fie protejat împotriva efectelor pe care le poate avea funcționarea normală sau anormală a aparatului.*

A. FACTORII DE MEDIU CARE INFLUENȚEAZĂ FUNCȚIONAREA APARATELOR ELECTRICE

Principalii factori prin care mediul exterior poate influența defavorabil funcționarea aparatelor electrice, sînt: *umiditatea mare, depunerile de praf, temperatura ambiantă și influența radiațiilor, atmosfera corosivă, exploatarea dură.*

● **Umiditatea mare**, așa cum apare la utilizarea aparatelor de joasă tensiune în băi, subsoluri, grajduri, în mine, în instalații tehnologice în care se produce abur, pe nave sau în regiuni cu climat umed (regiuni de litoral sau țări tropicale cu climat umed), este dăunătoare aparatului.

În anumite situații, aparatul poate fi stropit cu apă sau chiar scufundat în apă, în condiții normale de serviciu.

Umiditatea mare alterează în foarte mare măsură proprietățile electroizolante, îndeosebi ale izolanților organici, și favorizează procesele de coroziune electrolitică la contactul dintre metale diferite; aceste procese sînt mult accelerate în cazul umidității saline (la aparatele folosite pe nave sau în instalații aflate în imediata vecinătate a mării).

● **Depunerile mari de praf,** așa cum apar în fabricile de ciment, în mori, în fabricile de zahăr, în turnătorii sau în instalațiile montate în regiuni cu

climat de pustiu, periclitează de asemenea buna funcţionare a aparatelor electrice, deoarece:

— depunîndu-se între contacte, praful sau nisipul poate împiedica funcţionarea corectă a aparatelor de conectare, putînd provoca chiar distrugerea acestora prin încălzire exagerată;

— blochează mecanismele şi determină o uzură anormală a lagărelor şi a contactelor de alunecare;

— favorizează conturnarea izolanţilor;

— împiedică răcirea normală a aparatelor.

● **Temperatura ambiantă şi influenţa radiaţiilor solare.** Aşa cum s-a arătat în capitolele precedente (v. capitolul 3.B şi capitolul 5), temperatura ambiantă poate influenţa în mod hotărîtor buna funcţionare a aparatelor electrice şi în mod particular, durata de serviciu a materialelor izolante organice.

Dacă sînt supuse radiaţiilor solare directe, corpurile metalice pot atinge temperaturi pînă la 80 — 90°C iar în climat tropical, unde proporţia de radiaţii ultraviolete este sensibil mai mare, se adaugă acţiunea puternică a acestora de accelerare a proceselor de îmbătrînire a izolanţilor.

● **Atmosfera chimică corosivă,** aşa cum se întîlneşte în interiorul şi în vecinătatea combinatelor chimice, în instalaţiile de încărcat acumulatoare şi în cele de galvanizare, determină de obicei o înrăutăţire puternică a izolaţiei superficiale a aparatelor şi fenomene puternice de coroziune a metalelor.

● **Condiţii de exploatare dură,** în care aparatul este supus la solicitări mecanice puternice (poate fi lovit sau este supus la şocuri şi vibraţii), îl pot deteriora sau deregla; asemenea solicitări sînt specifice utilizării în exploatări miniere, în turnătorii, pe şantiere, pe poduri rulante şi maşini de ridicat etc.

B. INFLUENŢA FUNCŢIONĂRII APARATELOR ASUPRA MEDIULUI EXTERIOR

S-a arătat mai sus că există situaţii în care aparatul electric poate constitui un pericol pentru persoanele sau bunurile aflate în vecinătatea sa.

● În timp ce aparatele destinate să funcţioneze în centrale şi staţii electrice, unde personalul de exploatare este puţin numeros şi posedă cunoştinţe electrotehnice, pot fi construite în „execuţie deschisă", adică avînd neprotejate împotriva atingerilor accidentale părţile care în mod normal se află sub tensiune, aparatele destinate să funcţioneze **în mediul industrial** unde ele pot veni în contact cu un personal numeros şi mai puţin calificat şi **unde există pericolul de atingere şi chiar lovire din neatenţie,** este absolut necesar să fie închise în carcase rezistente.

● De asemenea, **în încăperi în care în mod normal există sau pot să apară pulberi, gaze inflamabile sau explozibile,** aşa cum se întîmplă în minele de cărbuni, în exploatările de extracţie şi prelucrare a petrolului şi a gazelor naturale, în vopsitorii şi în anumite instalaţii din industria chimică, chiar funcţionarea normală a unor aparate electrice poate constitui un pericol pentru instalaţie (de exemplu, prin arcul electric de întrerupere), fiind absolut necesar să se ia măsuri pentru protejarea acesteia.

C. PROTEJAREA APARATELOR FAȚĂ DE CONDIȚIILE MEDIULUI

Pentru a se realiza aparate care să satisfacă cît mai bine și cît mai economic aceste varietăți de condiții de utilizare, fără a complica prea mult activitatea de proiectare și urmărire a producției (printr-un număr prea mare de aparate și de repere aflate concomitent în fabricație), se iau o serie de măsuri de tipizare și standardizare.

● **În condiții de umiditate normală** se folosesc aparate de construcție normală, dar introduse în carcase de protecție concepute corespunzător condițiilor de exploatare date (protecție împotriva atingerii pieselor sub tensiune, protecție împotriva pătrunderii prafului sau a apei etc.).

Aparatele în execuție antiexplozivă sînt în fond aparate de construcție normală, închise în carcase metalice astfel concepute, încît în cazul în care în aparat au pătruns gaze explozive, aprinderea accidentală a acestora să nu se poată propaga din interiorul aparatului în mediul de asemenea exploziv care-l înconjoară (se spune în acest caz că aparatele sînt „etanșe la flacără" sau „etanșe la explozie").

● **În condiții de umiditate anormală** (de exemplu aparatele destinate să funcționeze în climat tropical umed), majoritatea aparatelor se execută din repere identice ca formă celor folosite în construcții normale, dar unele repere sînt executate din materiale mai rezistente la umezeală și coroziuni, sau se acoperă în mod special cu vopsele sau straturi galvanice de protecție.

Pentru a simplifica problemele de planificare și urmărire a fabricației, tendința este să se folosească și pentru climat normal soluții verificate pentru mediu de umiditate mare. Se obțin în felul acesta, pentru condiții normale, aparate de calitate mai bună decît este strict necesar, iar cheltuielile mai mari, provocate de folosirea unor materiale sau procedee de acoperire mai scumpe, sînt compensate prin reducerea numărului de repere ce trebuie planificate și urmărite în fabricație și prin avantajele economice pe care le aduc seriile mari de fabricație.

În felul acesta, problema realizării de aparate în variante constructive corespunzătoare condițiilor de mediu în care sînt puse să lucreze, se reduce la realizarea unor *tipuri diferite de carcase*, în care se închid aparate de construcție normală.

Pentru exemplificare, figura 23.1 reprezintă un *comutator-pachet, realizat în diferite variante constructive*. Astfel:

— figura 23.1, *a* reprezintă aparatul în execuție „deschisă" sau „neprotejată", așa cum se folosește atunci cînd el este încorporat într-o celulă sau într-un tablou de comandă care preia funcția de protecție mecanică și împotriva atingerii accidentale;

— figura 23.1, *b* reprezintă aparatul în execuție „cu placă frontală", folosit în cazul în care aparatul se montează pe peretele exterior al unui panou de comandă, trebuind să fie comandat din exterior;

— figura 23.1, *c* reprezintă aparatul în execuție „protejată" (în carcasă de bachelită), pentru utilizări în încăperi; se folosește atunci cînd trebuie evitată pătrunderea umezelii și a prafului în aparat, precum și atingerea accidentală a pieselor sub tensiune, dar unde nu există pericolul de lovire a acestuia;

— figura 23.1, *d* reprezintă același aparat în execuție „capsulată în fontă", necesară în medii cu mult praf și umezeală și unde condițiile de lucru

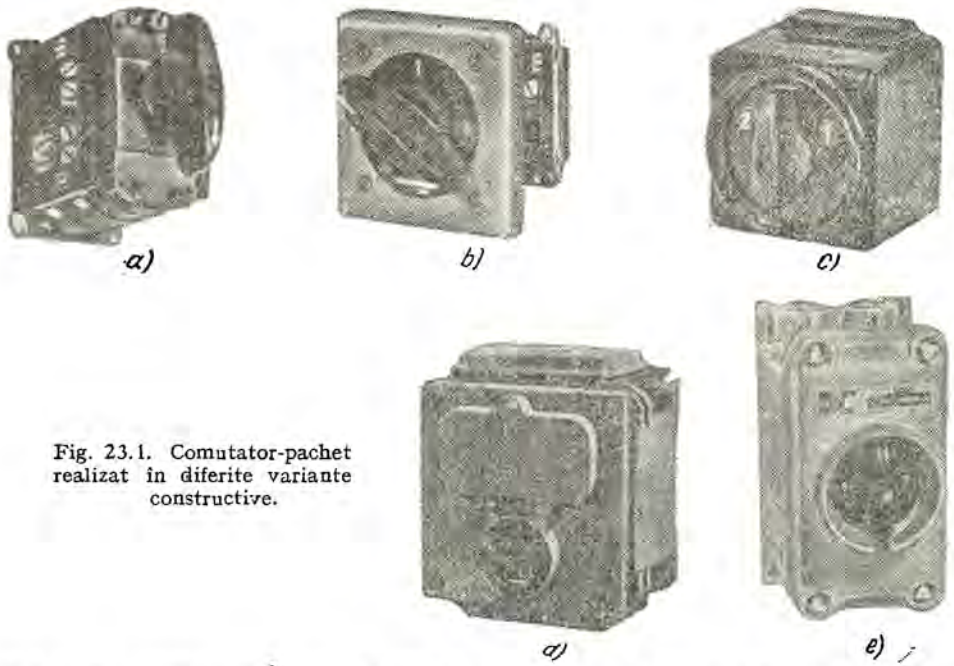


Fig. 23.1. Comutator-pachet realizat în diferite variante constructive.

sînt grele: ateliere mecanice, turnătorii, şantiere. Carcasa este relativ mare, deoarece conţine şi o priză industrială la care poate fi racordat un consumator mobil (comutatorul-pachet are, în acest caz, tocmai rolul de a pune şi scoate de sub tensiune acest consumator);

— figura 23.1, *e* reprezintă acelaşi comutator, dar „închis" într-o carcasă metalică în execuţie antiexplozivă.

Rezultă din cele de mai sus, că fabricarea variantelor constructive de aparate se poate reduce, în principiu, la executarea carcasei aparatului ca reper separat şi montarea aparatului în carcasă, operaţie care se execută pe benzi normale de montaj.

D. TIPURI DE PROTECŢIE

Se numeşte **tip de protecţie** *ansamblul măsurilor luate pentru a permite utilajului să funcţioneze corect în condiţii anumite ale mediului ambiant şi pentru a asigura securitatea persoanelor care îl deservesc.*

Pentru a se realiza tipizarea construcţiilor, au fost tipizate trei *grade normale de protecţie* şi trei *tipuri de protecţie specială.*

1. GRADE NORMALE DE PROTECŢIE

● **Gradele normale de protecţie,** definite prin standardele STAS 5325—62 şi STAS 5625—62 se referă la:

• *protecţia personalului împotriva atingerii pieselor sub tensiune sau a pieselor în mişcare* aflate în interiorul aparatului şi la *protecţia aparatului împotriva pătrunderii corpurilor solide* în interiorul acestora;

• *protecția aparatului împotriva pătrunderii apei* în interiorul acestuia;
• *protecția aparatului împotriva loviturilor* (a deteriorărilor mecanice).

● **Simbolizarea gradelor normale de protecție** se face prin literele I P urmate de trei cifre caracteristice, caracterizînd fiecare din ele cîte unul dintre cele trei grade normale de protecție, și anume:

— *prima cifră*, care poate lua valori între 0 și 6, simbolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii corpurilor solide, în conformitate cu precizările și exemplificările date în tabela 23.1;

— *a doua cifră*, care poate lua valori între 0 și 8, simbolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii apei, în conformitate cu precizările și exemplificările date în tabela 23.2;

— *a treia cifră*, care poate lua valori între 0 și 5, simbolizează grade normale de protecție împotriva deteriorărilor mecanice, în conformitate cu precizările date în tabela 23.3.

De exemplu: Un aparat pe care este marcată protecția I P-442 este astfel construit încît:

— în aparat nu pot pătrunde corpuri străine avînd dimensiuni peste 1 mm;

— în aparat nu poate pătrunde apă sau alte lichide sub formă de stropi, indiferent de direcția din care vin aceștia;

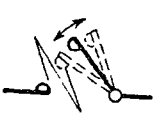
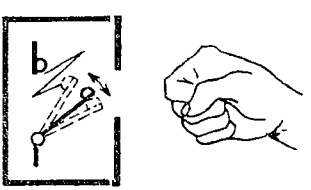
— aparatul suportă, fără deteriorări, căderea pe aparat a unei greutăți de 0,5 kg de la o înălțime de 40 cm deasupra acestuia.

Dintre variantele posibile de grade de protecție, se folosesc practic numai următoarele:

pentru aparatajul de conectare, reglare și protecție:*
IP-00; IP-10; IP-20; IP-30; IP-50

Tabela 23.1

Definirea gradului de protecție a aparatului împotriva pătrunderii corpurilor străine și de protecție a persoanelor împotriva electrocutării prin atingerea pieselor sub tensiune.
— Definirea tipurilor de protecție indicate de prima cifră —

Simbol	Grad de protecție realizat	Reprezentarea intuitivă
0	— Nici un fel de protecție a persoanelor contra contactului cu piese în mișcare sau cu piese sub tensiune — Nici un fel de protecție a aparatului împotriva pătrunderii corpurilor străine	
1	— Protecția împotriva contactului accidental a unei părți mari a corpului (de exemplu, mîna) cu piese sub tensiune sau piese în mișcare, aflate în interiorul carcasei — Nu oferă protecție contra accesului voit la aceste piese — Protecție a aparatului împotriva pătrunderii corpurilor solide mari (⌀ = 50 mm)	

* Aceste valori figurează în standarde și — natural — nu trebuie memorate.

Tabela 23.1 (continuare)

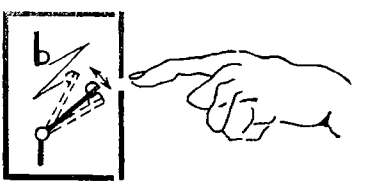
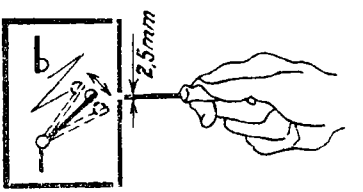
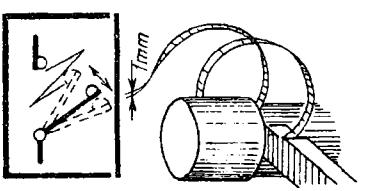
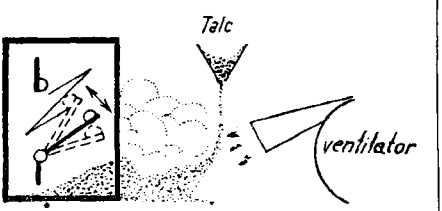
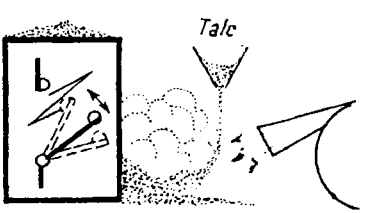
Simbol	Grad de protecție realizat	Reprezentarea intuitivă
2	— Protecția împotriva contactului degetelor cu piese sub tensiune sau în mișcare, aflate în interiorul carcasei — Protecție a aparatului împotriva pătrunderii corpurilor solide de dimensiuni mijlocii ($\varnothing$ = 12,5 mm)	
3	— Protecția împotriva contactului sculelor, a sîrmelor sau a obiectelor analoage de grosime mai mare decît 2,5 mm, cu piese sub tensiune sau în mișcare aflate în interiorul carcasei — Protecția aparatului împotriva pătrunderii corpurilor sclide de dimensiuni mici ($\varnothing$ = 2,5 mm)	
4	— Protecția împotriva contactului sculelor, al sîrmelor sau al obiectelor analoage de grosime mai mare decît 1 mm, cu piese sub tensiune sau cu piese în mișcare aflate în interiorul carcasei — Protecția aparatului împotriva pătrunderii corpurilor solide de dimensiuni mici ($\varnothing$ = 1 mm)	
5	— Protecția parțială împotriva contactului cu piesele sub tensiune sau cu piesele în mișcare aflate în interiorul carcasei — Protecția împotriva depunerilor dăunătoare de praf — Pătrunderea prafului nu este total împiedicată, dar acesta nu trebuie să pătrundă în cantitate atît de mare încît să pericliteze buna funcționare a aparatului	
6	— Protecția totală contra contactelor cu piese sub tensiune sau cu piese în mișcare aflate în interiorul carcasei — Protecția împotriva pătrunderii prafului fin	

Tabela 23.2

Definirea gradului de protecție a aparatului împotriva pătrunderii lichidelor
— Definirea tipurilor de protecție indicate de a doua cifră —

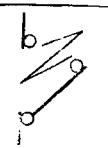
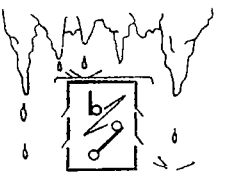
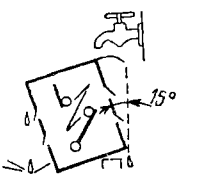
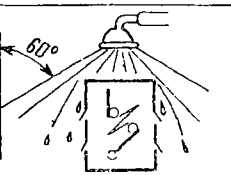
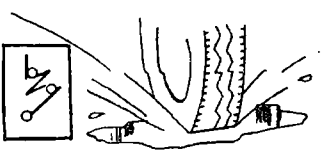
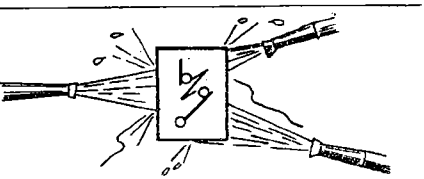
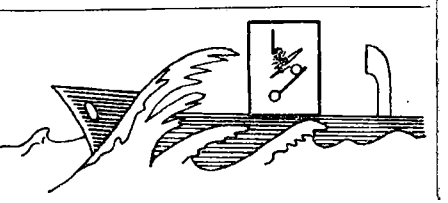
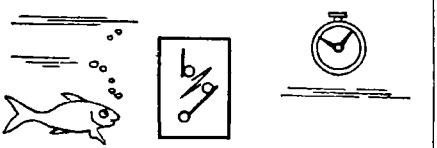
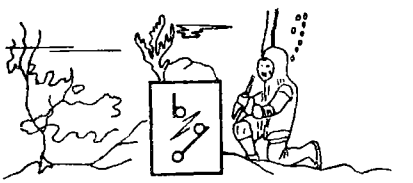
Simbol	Grad de protecție realizat	Reprezentarea intuitivă
0	— Nici un fel de protecție	
1	— Protecția împotriva apei de condensare căzînd în picături — Se cere ca picăturile de apă care cad pe carcasa aparatului să nu provoace efecte dăunătoare pentru aparatul din interior	
2	— Protecția împotriva apei căzînd în picături — Se cere ca aparatul să nu sufere nici dacă carcasa este înclinată cu 15° față de poziția sa normală	
3	— Protecția împotriva apei de ploaie, căzînd asupra carcasei sub un unghi pînă la 60°	
4	— Protecția împotriva lichidelor venind sub formă de stropi din orice direcție	
5	— Protecția împotriva jeturilor de apă proiectate cu furtunul, din orice direcție	
6	— Protecția aparatelor electrice folosite pe nave, împotriva valurilor ce pătrund pe bord	

Tabela 23.2 *(continuare)*

Simbol	Grad de protecție realizat	Reprezentarea intuitivă
7	— Execuție etanșă, sigură chiar în cazul scufundării carcasei în apă (la presiune și durată determinată)	
8	— Execuție etanșă, sigură în cazul scufundării carcasei în apă, un timp oricît de lung, la o presiune determinată	

IP-22; IP-33; IP-54; IP-55; IP-65; IP-66

pentru aparatajul de instalații:

IP-00; IP-10; IP-20; IP-30; IP-50; IP-22; IP-33; IP-54; IP-55; IP-66

(Pentru gradul de protecție împotriva deteriorărilor mecanice nu sînt standardizate preferințe).

Realizarea efectivă a fiecărui grad de protecție se verifică supunînd aparatele unor încercări de laborator bine determinate.

Tabela 23.3

Definirea gradului de protecție a aparatului împotriva deteriorărilor mecanice — Definirea tipurilor de protecție indicate de a treia cifră —

Simbol	Masa berbecului [kg]	Înălțime de cădere [cm]
0	—	—
1	0,15	40 cm
2	0,5	40 cm
3	1,5	40 cm
4	5	40 cm
5	15	40 cm

2. TIPURI DE PROTECȚIE SPECIALĂ

Tipurile de protecție specială se referă la construcția corespunzătoare funcționării în *medii diferite de cel normal*, și anume:

— *medii cu pericol de explozie*;

— *medii conținînd vapori corosivi*;

— *condiții speciale de climă* (climat tropical, climat polar etc.).

3. TIPURI DE APARATE

După *gradul de protecție pe care îl oferă carcasa*, execuția aparatului poate fi: *neprotejată* (sau deschisă), *protejată, închisă-normală, capsulată și antideflagrantă.*

● **Aparatele în execuţie neprotejată** nu au nici un fel de carcasă, nefiind protejate nici împotriva atingerilor întîmplătoare. Aceste aparate nu pot fi utilizate decît în încăperi închise, în spatele tablourilor de distribuţie, în celule separate prin ziduri sau grilaje şi, în general, în locuri în care nu pătrund decît electricieni calificaţi.

● **Aparatele în execuţie protejată** sînt astfel construite încît atingerea accidentală a pieselor aflate sub tensiune să nu fie posibilă, iar manevrarea aparatului să se poată face din exteriorul carcasei, fără a fi necesară deschiderea acesteia. Execuţia protejată se poate realiza şi cu simple plase sau grătare metalice, cu ochiuri suficient de mici, astfel încît piesele aflate sub tensiune să nu poată fi atinse cu degetul introdus prin ochiurile plasei.

● **Aparatele în execuţie închisă-normală** realizează, pe lîngă protecţia împotriva atingerii, şi protecţia împotriva picăturilor de apă. Aceste aparate au anumite orificii de ventilaţie, care sînt astfel dispuse, încît picăturile de apă căzute de sus oblic pe carcasă să nu poată pătrunde în interiorul acesteia.

● **Aparatele în execuţie capsulată** sînt mai bine închise decît cele precedente, realizînd închiderea etanşă. Se construiesc aparate etanşe la apă, necesare pe nave sau în instalaţii portuare, şi aparate etanşe la praf, necesare în industria cimentului. Etanşarea se obţine prin garnituri de metal, de cauciuc, de material plastic, cu cînepă impregnată etc.

● **Aparate electrice în construcţie antiexplozivă şi antigrizutoasă.** În mine, îndeosebi în cele de cărbuni, precum şi în numeroase întreprinderi din industria chimică (rafinării, vopsitorii etc.), în unele locuri de lucru, se află în permanenţă sau în mod accidental o atmosferă explozivă.

Pentru a se putea folosi şi în astfel de situaţii numeroasele avantaje pe care le prezintă energia electrică, este necesar să se ia anumite măsuri de siguranţă.

Atmosfera explozivă este un amestec al aerului cu un combustibil (în stare de gaz, de vapori, de ceaţă sau de praf), în anumite proporţii. De exemplu, amestecul de metan cu aer nu este exploziv decît în proporţie de 5...15% metan (acest amestec exploziv se numeşte „grizu", de unde denumirea aparatelor „antigrizutoase").

Energia electrică poate provoca aprinderea amestecurilor explozive pe două căi:

— *prin efectul termic* (este suficient ca un contact sau altă porţiune a căilor conducătoare de curent, aflată în contact cu atmosfera explozivă, să atingă temperatura de aprindere a acesteia);

— *prin efectul arcului electric* (produs fie la funcţionarea normală a aparatelor de întrerupere, fie prin conturnarea unei izolaţii degradate).

De aceea, în construcţia aparatelor electrice folosite în medii cu atmosferă explozivă, se iau în primul rînd măsuri care să limiteze temperaturile diferitelor piese la valori suficient de joase şi să evite ca arcul electric, produs în funcţionarea normală a aparatelor, să provoace explozii în instalaţie.

În legătură cu aceasta şi datorită condiţiilor grele de exploatare din mine (umiditate mare, depuneri mari de praf, întreţinere dificilă, solicitări mecanice dure prin transport, surpări de roci, manipulare de către un personal necalificat), se iau măsuri deosebite în ceea ce priveşte: dimensionarea şi impregnarea izolaţiei, rezistenţa mecanică, prevenirea scurtcircuitelor şi a

Fig. 23.2. Aparate electrice de joasă tensiune, în execuție antigrizutoasă:
a — cofret de comandă de 200 A, a unui motor, în carcasă cilindrică; *b* — cofret de comandă de 100 A, în carcasă paralelipipedică și cu închidere tip baionetă; *c* — priză și fișă (trei faze, două conductoare de comandă și un conductor pentru neutru).

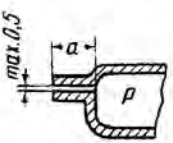
supratensiunilor, protecția personalului împotriva electrocutărilor și protecția aparatelor împotriva coroziunilor.

Dintre diferitele procedee care urmăresc să realizeze aceste condiții și, îndeosebi, să evite aprinderea amestecului exploziv, mai importante sînt *protecția în ulei* și *execuția antideflagrantă* (*antigrizutoasă*).

Protecția în ulei constă în cufundarea în ulei a tuturor pieselor care pot aprinde amestecul exploziv. Deasupra contactelor de întrerupere se lasă o pătură suficient de groasă de ulei, astfel încît gazele provocate de arcul electric de întrerupere să ajungă la suprafață suficient de răcite. Protecția în ulei prezintă și o serie de dezavantaje, printre care, mai importante, sînt: uzarea mare a contactelor, întreținerea mai dificilă, necesitatea de a supraveghea nivelul uleiului și, îndeosebi, faptul că uleiul însuși este inflamabil.

Execuția antideflagrantă, numită și **capsulare rezistentă la presiune,** este soluția cea mai frecvent folosită. Ea constă în închiderea aparatului într-o carcasă metalică rezistentă la presiunea maximă ce poate să apară în cazul unei explozii în interiorul aparatului (fig. 23.2). Carcasa metalică a aparatului este astfel construită, încît gazele din interior, aprinse în momentul apariției arcului electric, sînt aruncate în afară prin interstiții foarte înguste, care determină o răcire puternică a gazelor și împiedică astfel transmiterea exploziei în exterior. Lățimea și lungimea interstițiului au valori minime, impuse prin norme, și variază în funcție de volumul carcasei și de natura mediului exploziv (fig. 23.3).

Aparatele în execuția antigrizutoasă sînt marcate cu litera A imprimată vizibil pe carcasă.



Capacitate l	Presiunea p at	Lățimea a mm
← 0,5	5	8
0,5 - 2	6	15
2 ←	8	25

Fig. 23.3. Dimensiunile interstițiului și presiunea de încercare a carcaselor aparatelor antigrizutoase, în funcție de capacitatea carcasei.

Pentru alte gaze explozive decît grizu — gaze cu temperatura de aprindere mult mai joasă și explozia mai violentă se folosesc aparate de construcție întru totul asemănătoare celor antigrizutoase, rezistente la presiune, dar avînd interstițiul de laminare redus și mai mult (0,1—0,2 mm). Aceste *aparate* se numesc **antiexplozive** și sînt marcate, în locul literei A, cu Ex.

Pentru unele gaze (de exemplu, acetilena) nu se pot realiza carcase antideflagrante, deoarece explozia se transmite chiar prin interstiții sub 0,1 mm. În astfel de cazuri se folosesc alte metode de protecție.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Care sînt principalii factori prin care mediul exterior poate influența defavorabil funcționarea aparatelor electrice?

2 — Să se enumere principalii factori prin care aparatele electrice pot constitui un pericol pentru personalul de deservire și pentru mediul exterior.

3 — Care este principiul de funcționare al aparatelor în execuție antiexplozivă, rezistentă la explozii?

Partea a cincea

APARATE ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

- Noțiuni introductive
- Separatoare
- Întreruptoare automate de înaltă tensiune
- Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune
- Aparate de protecție împotriva supratensiunilor
- Transformatoare de măsură
- Bobine de reactanță
- Celule de distribuție de medie tensiune
- Tendințe privind evoluția în următorii ani a fabricației aparatajului electric

Capitolul 24
NOȚIUNI INTRODUCTIVE

● A. VALORI NOMINALE STANDARDIZATE PENTRU APARATELE DE ÎNALTĂ TENSIUNE ● B. APARATE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

A. VALORI NOMINALE DE TENSIUNE, STANDARDIZATE

Înalta tensiune *cuprinde întregul domeniu de tensiuni nominale de la 1 kV în sus.*

În cadrul acestui domeniu, care cuprinde rețelele de transport și distribuție a energiei electrice de la 1 la 750 kV (existînd și instalații cu caracter experimental de 1 000 kV, majoritatea pentru transportul energiei electrice *în curent continuu*, la foarte mari distanțe), se deosebesc trei grupe de **tensiuni nominale** destul de net diferențiate între ele:

• *media tensiune*, care cuprinde domeniul de tensiuni înalte *mai mici ca 110 kV*, deci tensiunile nominale cuprinse *între 1 și 66 kV inclusiv;*

• *tensiunile foarte înalte*, care cuprind domeniul de tensiuni nominale situate *între 110 ... 750 kV inclusiv;*

• *tensiunile hiperînalte*, care cuprind domeniul de tensiuni nominale *mai mari ca 750 kV.*

Pentru a se putea tipiza construcțiile de aparate electrice (în scopul reducerii prețului prin creșterea seriilor de fabricație), s-a urmărit în ultimele decenii reducerea numărului de trepte de tensiuni nominale.

● În țara noastră, față de valorile standardizate și utilizate anterior **pentru rețelele de medie tensiune** (1—6—10—15—20—25—30—35 și 60 kV), s-au standardizat pentru rețelele noi numai următoarele valori:

— *6 kV* numai pentru alimentarea motoarelor mari, de 6 kV, din industrie (instalație de interior);

— *10 kV* pentru distribuții urbane în cablu (numai pentru interior). Este posibil ca în viitor să se renunțe la această treaptă în favoarea tensiunii de 20 kV;

— *20 kV*, cu tensiune preferată pentru distribuții de medie tensiune de interior și exterior.

Tensiunile medii sînt folosite exclusiv pentru distribuția energiei electrice de la liniile de foarte înaltă tensiune către consumatorii din rețelele de joasă tensiune, distribuția realizîndu-se cel mai adesea cu aparate de interior.

● **În domeniul tensiunilor foarte înalte**, standardizarea internațională a putut fi din timp mai eficace, astfel încît astăzi în Europa și în cea mai mare parte a lumii se folosesc cu precădere următoarele tensiuni nominale: 110—220—400 și 750 kV.

Dintre acestea, tensiunea de 750 kV nu este încă introdusă în țara noastră, dar este posibil să apară în următorii ani.

○ **De reținut.** Valoarea tensiunii de transport a energiei electrice este determinată de puterea care trebuie transportată și de distanța de transport.

Tensiunile foarte înalte au fost folosite aproape exclusiv pentru transportul energiei la distanțe foarte mari, iar aparatele de foarte înaltă tensiune au fost realizate în cea mai mare parte ca aparate de exterior (distanțele foarte mari de izolare necesare la aceste tensiuni, ar impune clădiri deosebit de costisitoare).

În ultimul timp însă, necesitatea introducerii unor puteri mari în interiorul localităților și în centrul marilor platforme industriale, corelată cu pericolul pe care îl prezintă atmosfera poluată a centrelor industriale și urbane pentru izolația externă a aparatelor și cu posibilitățile pe care le deschid instalațiile izolate în hexafluorură de sulf (v. cap. 26 — K), au determinat extinderea folosirii aparatelor de 110 și 220 kV în stații de distribuție urbană și industrială de interior.

● În țara noastră nu se folosesc și, foarte posibil, nu se vor folosi în următorii 10—15 ani **tensiuni hiperînalte** * și nu se vor fabrica aparate pentru asemenea tensiuni nominale. Pentru acest motiv, în acest manual nu se tratează acest domeniu.

B. APARATE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Spre deosebire de aparatajul de joasă tensiune, a cărui prezență este foarte frecventă în toate întreprinderile industriale și chiar în locuințe, ele venind astfel în contact cu pături largi de populație, *aparatajul de înaltă tensiune este concentrat în anumite puncte* (centrale electrice, stații de transformare, stații de interconexiune) unde nu are acces decît un personal restrîns ca număr și bine calificat pentru a putea deservi astfel de aparate. Această situație este motivată de următoarele fapte:

— prezența tensiunii înalte creează un pericol foarte mare și permanent de electrocutare; din acest motiv, în stațiile de înaltă tensiune nu este permisă decît intrarea celor special însărcinați și instruiți pentru a le deservi;

— stațiile de transport și distribuție a energiei electrice reprezintă noduri vitale pentru economia țării, dereglări ale funcționării acestora putînd să paralizeze activitatea unor întreprinderi și chiar orașe întregi, creînd pagube enorme. De aceea, nu au acces aici decît angajații care au însărcinarea și competența să asigure funcționarea lor fără întrerupere.

---

* Cu totul orientativ și numai pentru o memorizare ușoară și *pentru a avea „ordinul de mărime"* se poate considera că tensiunile hiperînalte, de ordinul a cel puțin *1 000 kV*, sînt necesare numai acolo unde trebuie transportate puteri de ordinul a peste *1 000 MW* la distanțe de ordinul a peste *1 000 km*.

Faptul că aparatele de înaltă tensiune nu sînt folosite decît în anumite puncte (centrale electrice, staţii de transformare şi distribuţie etc.) a favorizat standardizarea mai avansată a soluţiilor şi mai ales, a limitat mult sortimentul de aparataj de înaltă tensiune.

Aparatajul de înaltă tensiune este format în principal din următoarele categorii de aparate:

- *separatoare*, care au numai rolul de izolare vizibilă, între ele, a unor părţi ale instalaţiilor de înaltă tensiune;
- *întreruptoare*, care preiau funcţiile de comutaţie (închidere şi deschidere) şi de protecţie a circuitelor de înaltă tensiune;
- *siguranţe fuzibile de înaltă tensiune*, ca aparat simplu de protecţie împotriva scurtcircuitelor;
- *descărcătoare*, ca aparate de protecţie împotriva supratensiunilor;
- *bobine de reactanţă*, pentru limitarea curenţilor de scurtcircuit în instalaţii de medie tensiune;
- *transformatoare de măsură*, care permit supravegherea parametrilor funcţionali ai energiei transportate;
- *celule şi posturi prefabricate*, formate prin gruparea funcţională a mai multor aparate în ansambluri tipizate de medie tensiune.

În capitolele următoare se vor analiza succesiv rolul, formele constructive, elementele componente şi domeniile de utilizare ale fiecăreia din aceste categorii de aparate.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1 — Care sînt tensiunile nominale cele mai folosite în ţara noastră (în domeniul tensiunilor înalte)?

2 — Care sînt avantajele tehnologice ale reducerii numărului de tensiuni nominale?

3 — Care sînt factorii care determină creşterea numărului de instalaţii de 110 şi 220 kV, de interior?

Capitolul 25

SEPARATOARE

● A. ROLUL SEPARATOARELOR ● B. SOLUȚII CONSTRUCTIVE ● C. ELEMENTE COMPONENTE ȘI TEHNOLOGIA DE FABRICAȚIE A SEPARATOARELOR ● D. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA SEPARATOARELOR

A. ROLUL SEPARATOARELOR

Normele de protecție a muncii impun ca lucrările de întreținere sau de reparații în instalațiile de înaltă tensiune să se execute *numai după ce porțiunea pe care se lucrează a fost deconectată și izolată* **vizibil** *de restul instalației.* Sînt, deci, necesare aparate de conectare care să realizeze o întrerupere vizibilă și o izolație suficientă.

În același timp, în centralele electrice este necesar să se efectueze manevre de conectare sau deconectare *fără curent* a diferitelor circuite (schimbarea sau separarea barelor, trecerea de la un generator la altul etc.), fiind necesare, pentru aceasta, aparate de conectare simple, fără putere de rupere, dar de construcție robustă, cu manevrare ușoară și poziție ușor vizibilă.

Pentru aceste scopuri se folosesc **separatoarele.**

Separatoarele sînt *aparate de conectare destinate conectării și deconectării circuitelor sub tensiune, dar fără sarcină, separarea fiind vizibilă și cu suficientă izolație,* pentru ca, pe circuitul deconectat, personalul de întreținere să poată executa lucrări în deplină siguranță.

Corespunzător scopului pentru care au fost construite, separatoarele au o *putere de rupere foarte redusă* (pot întrerupe, în anumite limite, curentul de magnetizare al transformatoarelor mici).

B. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Separatoarele realizează întreruperea prin deschiderea unui **cuțit mobil** de contact. Acesta separă astfel două contacte fixe, la care sînt racordate, prin borne, căile de curent ale circuitelor comandate.

În funcție de condițiile de utilizare se deosebesc mai multe tipuri de separatoare, care pot fi grupate după diferite criterii.

• **După tensiunea nominală,** se deosebesc: separatoare de 1, 3, 6, 10, 15, 20, 35, 60, 220, 400, 500 și 750 kV.

• **După intensitatea nominală,** se deosebesc: separatoare de 200, 400, 630, 1 250, 1 500, 2 000, 3 150, 6 000 A.

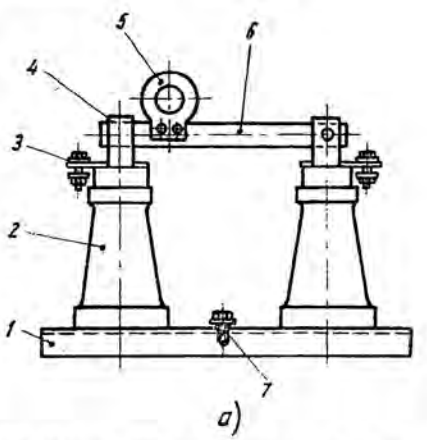
• **După felul instalației,** se deosebsc: *separatoare de interior* (folosite îndeosebi la tensiuni nominale pînă la 15 ... 35 kV și, mai rar, pînă la 110 kV) și *separatoare pentru instalații de exterior* (pentru tensiuni nominale cuprinse între 15 și 750 kV).

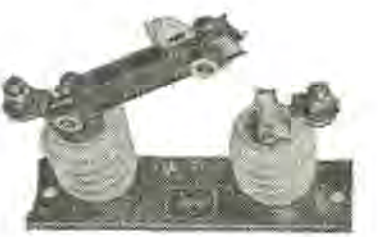
• **După modul de deplasare a cuțitelor,** separatoarele se împart în: *monopolare* (fig. 25.1 și 25.3) și *tripolare* (fig. 25.2 și 25.4).

• **După modul de deplasare a cuțitelor,** separatoarele se împart în:

— *separatoare tip pîrghie,* numite și „separatoare cu cuțit" (fig. 25.1), la care cuțitul de contact se deplasează în planul determinat de axele izolatoarelor; acesta este tipul cel mai frecvent folosit în instalațiile de interior pînă la 35 kV;

— *separatoare tip rotativ,* la care cuțitul de contact se deplasează într-un plan perpendicular pe axele izolatoarelor. Sînt folosite îndeosebi în instalațiile de exterior de 35 ... 220 kV.





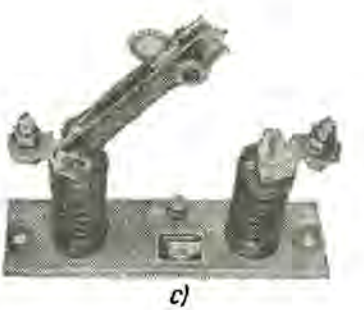


Fig. 25.1. Separatoare monopolare de interior, 10 kV — 400 A, acționate manual:

a — elemente componente; *b* — soluție constructivă cu izolatoare de porțelan; *c* — același separator cu izolatoare din rășini epoxidice.

1 — cadru de susținere; *2* — izolator suport; *3* — bornă de legare la circuit; *4* — contact fix; *5* — ureche de acționare a contactului mobil; *6* — cuțit de contact (contact mobil); *7* — bornă de legare la masă.

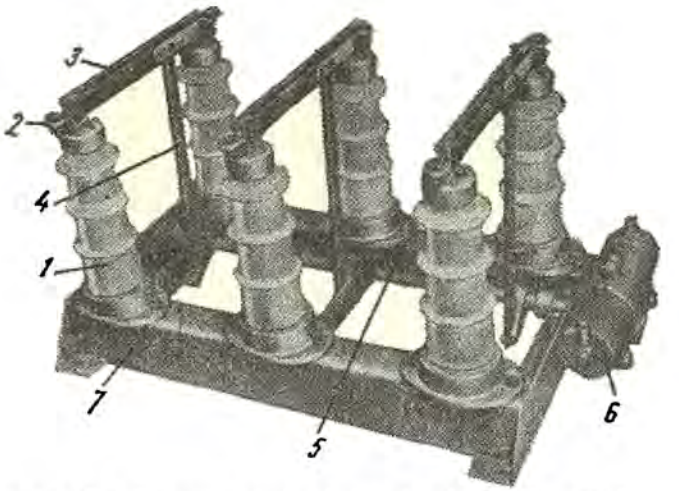


Fig. 25.2. Separator tripolar de interior, de 20 kV — 200 A, acționat pneumatic:

1 — izolator suport; *2* — borne de racord; *3* — cuțit de contact; *4* — tijă izolantă de acționare a contactelor mobile; *5* — ax de acționare; *6* — dispozitiv de acționare pneumatică; *7* — cadru de susținere.

Separatoarele de tip rotativ pot fi:

— *cu trei coloane* (fig. 25.3), deschiderea realizîndu-se prin rotirea izolatorului central în jurul axei sale;

— *cu două coloane* (fig. 25.4), la care deschiderea se realizează prin rotirea ambelor izolatoare; acest tip este din ce în ce mai răspîndit, prezentînd avantaje în ceea ce privește simplitatea construcției și spațiul necesar;

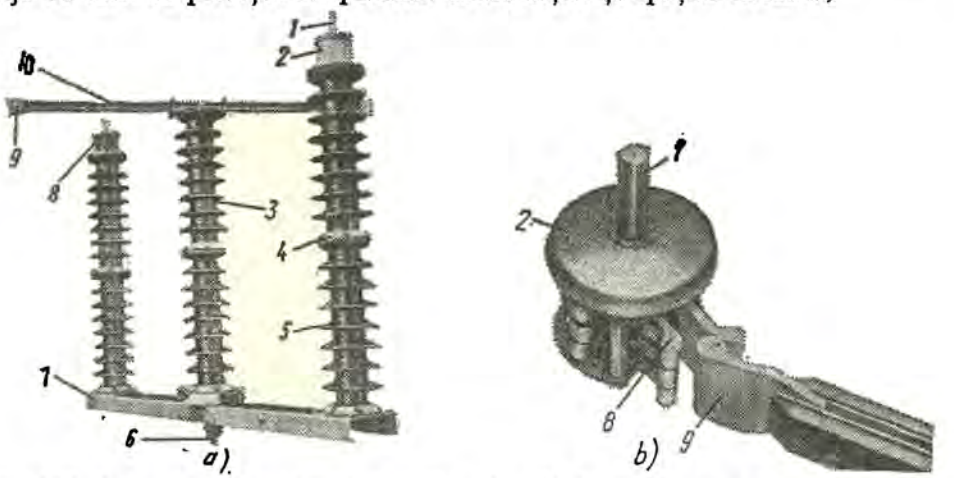


Fig. 25.3. Separator monopolar de exterior, de 220 kV — 630 A, tip rotativ cu trei coloane:

a — vedere generală; *b* — piesele de contact (detaliu).

1 — bornă de racord la linie; *2* — capac de protecție a contactelor; *3* — coloana centrală, mobilă; *4* — flanșă de fixare a izolatoarelor; *5* — coloană laterală, fixă; *6* — ax de comandă a coloanei centrale; *7* — cadru de susținere; *8* — contact fix, oscilant; *9* — contact mobil; *10* — brațul suport al contactelor mobile.

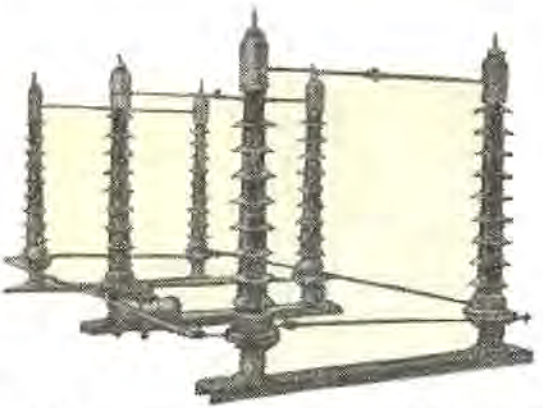


Fig. 25.4. Separator tripolar rotativ de exterior cu două coloane, de 110 kV — 630 A, acționat pneumatic.

— separatoare *de tip culisant*, la care cuțitul se deplasează în lungul axei sale. Tipul acesta are avantajul de a necesita un spațiu de montaj (inclusiv distanțele de izolare în poziție „deschis") mai redus, putîndu-se astfel utiliza mai bine în celule de distribuție. El este totuși puțin folosit, construcția sa fiind mai complicată și mai puțin robustă (fig. 25.5).

Separatoarele pot fi realizate *cu sau fără cuțit de punere la pămînt*. Cele prevăzute cu cuțit de punere la pămînt (fig. 25.6) sînt folosite la plecările din stații, pentru a realiza și punerea la pămînt a liniei sau a cablului deconectat, astfel încît lucrările de întreținere sau de reparații să se poată executa în siguranță. Se ia această măsură pentru ca siguranța muncitorilor care lucrează pe porțiunea întreruptă a liniei să fie realizată chiar în cazul cînd aceasta ar fi pusă sub tensiune prin închiderea accidentală a separatorului de la celălalt capăt al liniei.

În instalațiile de tensiune foarte înaltă (peste 110 kV), spațiul ocupat de separator devine foarte mare. Pentru a se reduce acest spațiu, se folosesc separatoare de construcție specială, avînd de obicei un singur izolator-suport, la care contactul mobil se deplasează pe verticală. După forma constructivă a contactelor mobile, aceste separatoare poartă diferite denumiri:

— *separatoare tip pantograf* (fig. 25.7);

— *separatoare tip semipantograf* (fig. 25.8 și 25.9).

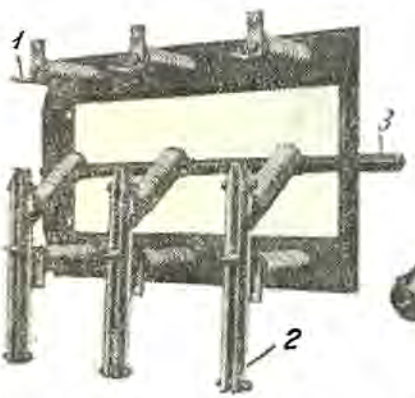


Fig. 25.5. Separator tripolar de interior de 10 kV — 630 A, cu contacte culisante:

1 — contact fix; *2* — contact mobil; *3* — ax de acționare a contactelor mobile.

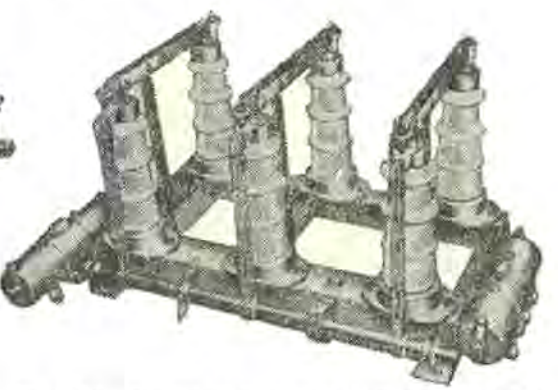
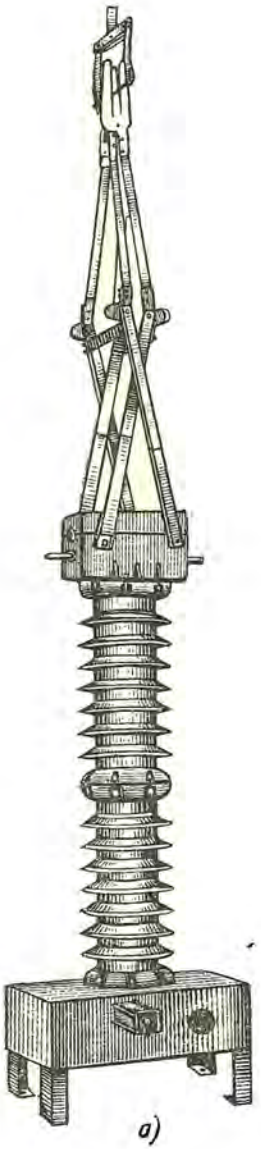
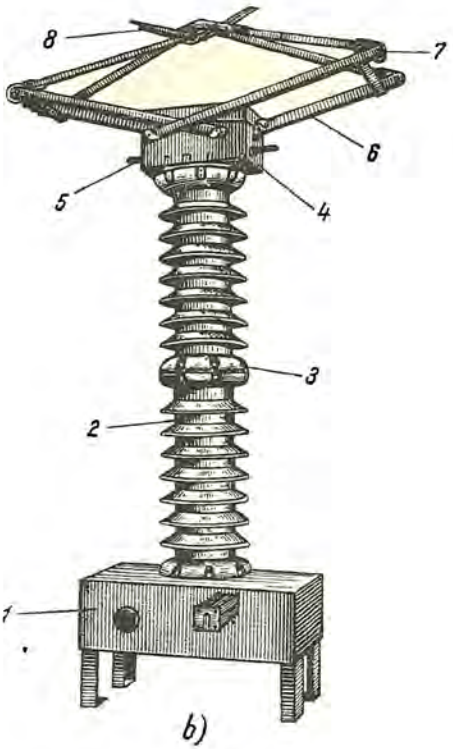


Fig. 25.6. Separator tripolar de interior, 20 kV — 200 A, cu cuțite de legare la pămînt (atît contactele principale cît și cele de legare la pămînt sînt acționate pneumatic cu ajutorul unor dispozitive independente).





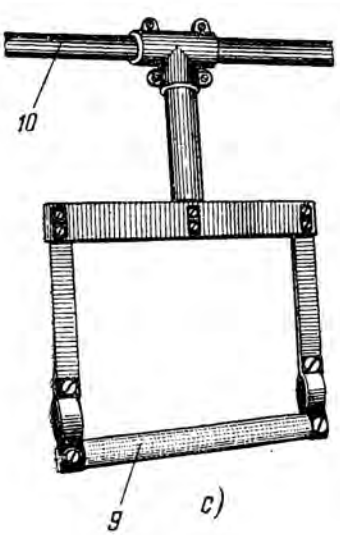


Fig. 25.7. Separator monopolar de exterior tip pantograf (150 kV — 1 250 A):

a — separator în poziție „închis"; *b* — în poziție „deschis"; *c* — detaliu privind construcția captatorului (contactul fix racordat la linia de înaltă tensiune).

1 — soclu; *2* — izolator suport; *3* — flanșă; *4* — cutia mecanismului de acționare; *5* — bornă de racord la una din liniile de înaltă tensiune; *6* — braț mobil; *7* — articulație; *8* — contact mobil; *9* — contact fix; *10* — linie de înaltă tensiune.

Fig. 25.8. Separator monopolar de exterior tip semipantograf (400 kV — 1 250 A).

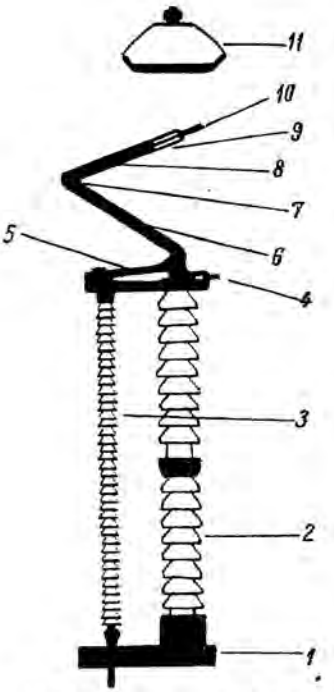


Fig. 25.9. Separator monopolar de exterior cu o coloană, tip semipantograf — elemente componente:

1 — soclu metalic; *2* — izolator-separator; *3* — izolator de acționare; *4* — bornă de legătură; *5* — mecanism care transformă mișcarea de rotație a izolatorului de acționare în mișcare în sus sau în jos a contactului mobil; *6* și *8* — brațele contactului mobil; *7* — articulație; *9* și *10* — elemente de prindere ale contactului mobil; *11* — contact fix superior (captator).

Prin analogie cu separatoarele din figurile 25.3 și 25.4, aceste separatoare se mai numesc și *separatoare cu o coloană*. Ele se construiesc, îndeosebi, pentru tensiunile foarte înalte (220 ... 750 kV), în tensiuni mai mici fiind costisitoare.

Pe liniile aeriene de electrificare rurală și pe cele care deservesc consumatori de mai mică importanță, se folosesc încă așa-numitele *separatoare de stîlp* sau *separatoare cu coarne* (fig. 25.10). La aceste separatoare, deschiderea se realizează prin bascularea ambelor izolatoare ale unei faze, sub acțiunea unui mecanism comandat de la baza stîlpului.

La deschidere, arcul electric care se formează între contacte este împins prin convecție și suflaj magnetic în sus, pe coarnele de contact, cu ajutorul cărora arcul este alungit mult, realizîndu-se în acest fel întreruperea curenților de mers în gol și a unor curenți mici de sarcină.

Aceste separatoare se construiesc pentru tensiunile nominale de 10; 15; 20 și 35 kV și curenții nominali de 200 și 630 A.

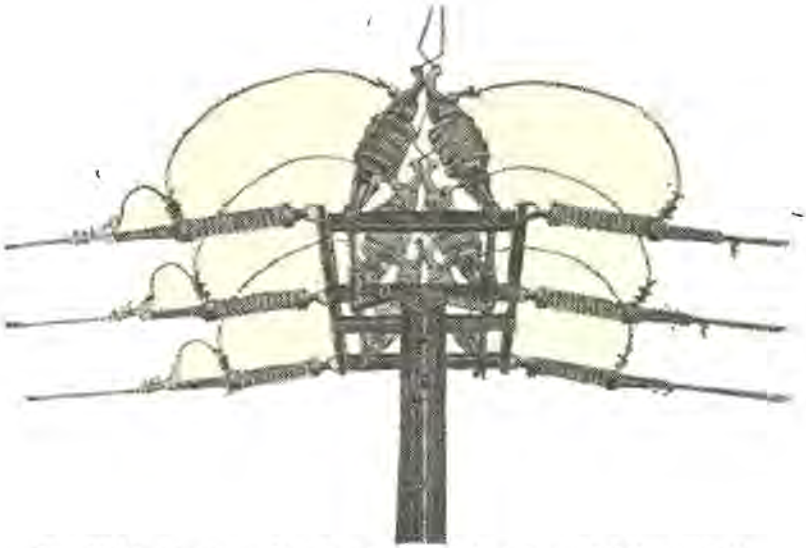


Fig. 25.10. Separator de stilp cu coarne de suflaj (20 kV — 630 A).

C. ELEMENTE COMPONENTE ŞI TEHNOLOGIA DE FABRICAŢIE A SEPARATOARELOR

1. CONSTRUCŢIA

Orice separator este alcătuit din următoarele **elemente componente**:

- *căile conducătoare de curent;*
- *elementele izolante;*
- *soclul cu elementele auxiliare;*
- *dispozitivul de acţionare.*

● **Căile conducătoare de curent** sînt formate din:

— *cuţitul de contact* (contactul mobil), alcătuit din una sau mai multe bare de cupru de secţiune dreptunghiulară, asamblate rigid între ele cu şuruburi de oţel zincat. La separatoarele de exterior, de tipul celor din figura 25.11, cuţitul de contact este realizat, de obicei, din ţeavă de cupru;

— *două contacte fixe*, din cupru sau alamă;

— *bornele de fixare* a conductelor de legătură.

Pe cuţit sau pe contactele fixe sînt prevăzute, de obicei, arcuri care să asigure presiunea de contact necesară.

La separatoarele de exterior, de tipul celui din figura 25.11, în momentul stabilirii sau întreruperii contactului cuţitul de contact execută o mişcare de răsucire în jurul axei sale, pentru a îndepărta gheaţa care eventual s-a depus pe contacte.

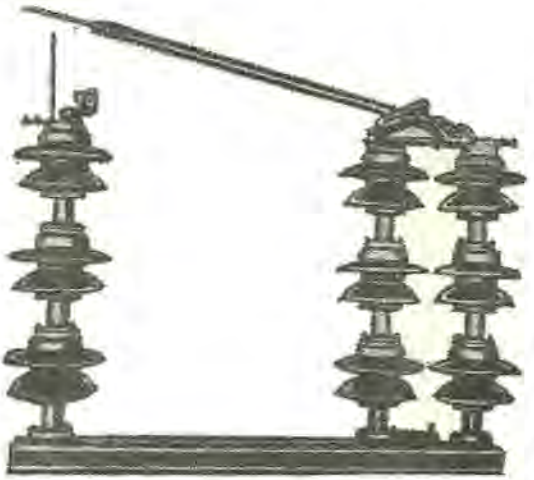


Fig. 25.11. Separator de exterior de 110 kV cu mecanism de spargere a gheții.

● **Elementele izolante** sînt:

— *izolatoarele de susținere ale contactelor fixe* (de obicei se folosesc izolatoare suport și numai rareori — izolatoare de trecere);

— *bilele de acționare a cuțitelor de contact*, executate din porțelan, din bare de pertinax ori textolit sau, mai recent, din bare executate din țesătură de sticlă și rășini de turnare.

● **Soclul** separatorului este executat, de obicei, dintr-un cadru rigid, din profiluri de oțel sudate. Pe soclu se fixează: *izolatoarele de susținere* a contactelor, *axul comun* care transmite bilelor mișcarea, *cuțitul de punere la pămînt*, *un șurub de legare la pămînt* a cadrului și *contactele pentru semnalizarea la distanță* a poziției separatorului.

2. FABRICAREA

La fabricarea unui separator, se deosebesc următoarele **faze**:

- *pregătirea pieselor;*
- *montarea* (asamblarea și reglarea);
- *controlul final.*

● **Pregătirea pieselor** comportă:

— decuparea în matrițe sau cu ajutorul altor dispozitive, din bare sau din table de cupru sau de alamă, a pieselor de contact;

— decaparea acestora pentru îndepărtarea oxizilor, a urmelor de unsoare sau a altor impurități;

— depunerea, prin galvanizare, a unui strat de argint, pentru a reduce valoarea rezistențelor de contact;

— armarea izolatoarelor și vopsirea flanșelor cu o vopsea protectoare;

— sudarea și vopsirea cadrului;

— fabricarea și tratarea arcurilor.

● **Montarea** comportă următoarele operații principale:

— montarea izolatoarelor pe cadru;

— montarea căilor de curent pe izolatoare;

— reglarea poziției cuțitelor și a presiunii în contacte;

— montarea elementelor accesorii.

● **Controlul final** verifică îndeosebi:

— prezența tuturor pieselor și montarea lor corectă;

— manevrarea ușoară;

— intrarea corectă și fără efort exagerat a cuțitelor de contact în contactele fixe;

— respectarea presiunii de contact prescrise;

— izolația.

○○○ La separatoarele tripolare **este important** ca toate cele trei contacte mobile să atingă și să părăsească simultan contactele fixe respective (se admit abateri de ordinul a 1 cm).

D. ÎNTREȚINEREA ȘI EXPLOATAREA SEPARATOARELOR

Așa cum s-a arătat, separatoarele nu au dispozitive de stingere a arcului și nu pot întrerupe curenți de sarcină importanți; de aceea, separatoarele se manevrează numai după ce circuitul a fost întrerupt cu un întreruptor.

○○○ **Important.** *Manevrarea separatorului sub sarcină* (cu întreruptor automat corespunzător, închis) *provoacă totdeauna distrugerea contactelor și poate produce scurtcircuite și alte accidente grave în instalație.* Închiderea neprevăzută a separatorului poate provoca, pe lîngă distrugerile arătate, și *accidentarea gravă a persoanelor care eventual lucrează pe linia întreruptă.*

Pentru aceste motive, se prevăd dispozitive de blocare a poziției separatoarelor, iar manevrarea acestora trebuie să se facă numai în condițiile prevăzute în prescripțiile de exploatare a instalației.

Cu ocazia reviziilor periodice, trebuie să se verifice îndeosebi manevrarea ușoară și starea contactelor, îndepărtîndu-se eventualele perlări sau oxidări ale suprafețelor de contact. Cu această ocazie se curăță și izolatoarele de praf sau de alte depuneri.

După scurtcircuite sau în timpul exploatării, se verifică de la distanță poziția corectă a cuțitelor în contactele fixe, precum și culoarea acestora, pentru a se constata dacă nu se produc încălziri exagerate.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1 — Enumerați tipurile constructive de separatoare de exterior.

2 — Enumerați elementele principale care intră în componența oricărui separator indicînd materialul din care sînt confecționate.

3 — Care sînt precauțiile care se iau la manevrarea separatoarelor?

Capitolul 26

ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

● A. PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE ŞI METODE DE STINGERE A ARCULUI ELECTRIC ÎN ÎNTRERUPTOARELE DE ÎNALTĂ TENSIUNE ● B. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE CU ULEI MULT ● C. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE CU ULEI PUŢIN ● D. ÎNTRERUPTOARE CU AER COMPRIMAT ● E. ÎNTRERUPTOARE CU AUTOCOMPRESIE ● F. ÎNTRERUPTOARE CU AUTOFORMARE DE GAZ ● G. ÎNTRERUPTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE CU RUPERE ÎN AER LIBER ● H. ÎNTRERUPTOARE CU RUPERE ÎN VID ÎNAINTAT ● I. ÎNTRERUPTOARE (SEPARATOARE) DE SARCINĂ ● J. CONTACTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE ● K. ÎNTRERUPTOARE CU STINGERE ÎN HEXAFLUORURĂ DE SULF

Întreruptoarele automate de înaltă tensiune sînt *aparate de conectare destinate să efectueze închiderea şi deschiderea circuitelor electrice de înaltă tensiune aflate sub sarcină* (străbătute de curent), *atît în condiţii normale de lucru, cînd circuitul este străbătut de curentul de serviciu, cît şi în caz de defect, cînd circuitul poate fi străbătut de curenţi mult mai mari* (de ordinul zecilor de kA).

Ele pot executa atît operaţia de închidere sau întrerupere a circuitului în mod voit, la comanda unui operator, cît şi întreruperea automată, la comanda dată de un releu care supraveghează funcţionarea corectă a instalaţiei.

Rolul acestor întreruptoare automate este:

— să realizeze întreruperea şi stabilirea curentului de serviciu atunci cînd sînt comandate;

— să întrerupă circuitul în mod automat şi cît mai repede îndată ce primesc comanda de la releele de protecţie ale instalaţiei.

Acestea fiind funcţiile lor, întreruptoarele automate de înaltă tensiune trebuie să fie astfel construite, încît să satisfacă următoarele condiţii:

• *în poziţia închis:*

— să suporte solicitările termice ale curenţilor de serviciu, astfel încît încălzirea aparatului să rămînă între limitele admise;

— să suporte solicitările termice şi dinamice ale celor mai mari curenţi de scurtcircuit care pot să apară în instalaţia respectivă;

— să asigure izolarea căilor conductoare de curent, atît față de piesele legate la pămînt, cît și între faze;

• *în poziția deschis* să asigure o izolare suficientă:

— între părțile conductoare de curent și părțile metalice legate la pămînt;

— între căile de curent ale diferitelor faze;

— între contactele deschise ale aceleiași faze;

• *în timpul deschiderii* să realizeze o întrerupere rapidă și sigură a curenților, de la valorile foarte mici, pînă la valorile maxime ale curenților de scurtcircuit, care pot să apară în instalație. Întreruperea trebuie să se realizeze fără a periclita personalul sau instalația prin aruncarea de flăcări, gaze fierbinți sau lichide, ori prin producerea de supratensiuni.

Satisfacerea condițiilor de mai sus este asigurată dacă mărimile nominale ale întreruptorului automat sînt alese corect. Aceste mărimi sînt: curentul nominal, tensiunea nominală, puterea de rupere nominală.

Pe plăcuța întreruptorului sînt indicate atît mărimile nominale, cît și curentul limită termic și curentul limită dinamic al acestuia.

A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE ȘI METODE DE STINGERE A ARCULUI ELECTRIC ÎN ÎNTRERUPTOARELE AUTOMATE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

La deschiderea unui întreruptor automat de înaltă tensiune se constată că, la începutul mișcării de separare a contactelor, acestea rămîn un anumit timp încă în atingere, dar suprafața reală de contact scade din ce în ce mai mult, pînă cînd densitatea de curent pe suprafața de contact rămasă este atît de mare, încît se produce o topire și o vaporizare locală a metalului de contact. Temperatura foarte înaltă a pieselor de contact, în regiunea în care se produce separarea lor, determină izolarea puternică a mediului izolant înconjurător (aer, ulei etc.), ceea ce are ca urmare amorsarea unui arc între contacte, imediat după separarea acestora.

A întrerupe circuitul înseamnă tocmai a stinge în timp suficient de scurt arcul astfel format între contacte.

Așa cum s-a arătat în capitolul 8, arcul electric reprezintă o coloană subțire de gaze ionizate, caracterizată printr-o temperatură de mai multe mii de grade, iar dezionizarea coloanei de arc și stingerea acestuia se obțin printr-o răcire a coloanei de arc.

Răcirea și dezionizarea coloanei arcului electric se pot obține prin diferite metode, printre care mai folosite sînt:

— cufundarea arcului electric într-un mediu izolant cu mare capacitate termică (ulei, apă, hidrogen);

— deplasarea rapidă și lungirea arcului într-un mediu rece neionizat;

— suflarea unui jet de lichid sau de gaze proaspete, neionizate, asupra arcului;

— răcirea arcului prin contact direct cu pereții reci de mare capacitate termică;

— destinderea bruscă a gazelor din coloana de arc.

În același timp, menținerea unei presiuni de cîteva atmosfere în spațiul dintre contacte favorizează stingerea arcului, îngreunînd procesele de ionizare și mărind rigiditatea dielectrică a mediului izolant.

Practic, la toate întreruptoarele de înaltă tensiune *se folosesc în același timp cîteva dintre metodele de stingere precedente*, deosebirile dintre diferitele soluții constructive constînd mai ales în faptul că se dă importanță mai mare unei anumite metode de stingere a arcului, precum și în felul în care se realizează practic dispozitivul de stingere.

Afară de parametrii electrici (tensiune nominală, curent nominal și putere de rupere), diferitele întreruptoare automate de înaltă tensiune se deosebesc între ele, în primul rînd, prin *mediul de stingere a arcului*, care poate fi lichid sau gazos.

● **Întreruptoarele cu stingere în mediu lichid** sînt de mai multe tipuri:

- *cu ulei mult*;
- *cu ulei puțin*;
- *cu apă (expansină)*.

● **Întreruptoarele cu stingere în mediu gazos** se grupează, la rîndul lor, în următoarele categorii:

- *cu aer comprimat*;
- *cu autocompresie*;
- *cu autoformare de gaze* (cu stingere prin gazele produse sub influența arcului asupra anumitor corpuri solide);
- *cu rupere în aer liber*;
- *cu hexafluorură de sulf* (SF_6).

● **Întreruptoarele cu întrerupere în vid** constituie un caz particular la care principiul întreruperii arcului electric se bazează pe faptul că, pentru ca arcul electric să existe, trebuie să existe în mediul respectiv purtători de sarcină electrică sub formă de particule ionizate. Într-un vid foarte avansat, lipsind atomii de gaz care, prin ionizare, să preia transportul energiei electrice de la un electrod la altul, arcul electric nu poate subzista.

B. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE CU ULEI MULT

Întreruptoarele cu ulei mult reprezintă tipul cel mai vechi și cel mai simplu de întreruptor de înaltă tensiune. Principiul lor de funcționare *se bazează pe proprietatea uleiurilor izolante minerale* (uleiuri de transformator) *de a se descompune sub acțiunea temperaturii ridicate a arcului electric* (cîteva mii de grade), *degajînd o cantitate importantă de hidrogen*. Presiunea creată de gazele rezultate din descompunerea uleiului, proprietatea hidrogenului de a fi un bun conducător de căldură (contribuind astfel la răcirea energetică a coloanei de arc), precum și alți factori care vor fi analizați în cele ce urmează, exercită o acțiune energică de dezionizare și răcire a coloanei arcului electric, determinînd stingerea acestuia la trecerea naturală a curentului prin zero, după 6 ... 10 semiperioade.

Din punctul de vedere al măsurilor ce se iau pentru a favoriza stingerea arcului electric, se deosebesc două categorii de întreruptoare cu ulei mult:

- *întreruptoare cu ulei mult și rupere liberă;*
- *întreruptoare cu ulei mult și cameră de stingere,* care vor fi analizate în cele ce urmează.

1. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE CU ULEI MULT ȘI RUPERE LIBERĂ

● Figura 26.1, care reprezintă schematic un întreruptor cu ulei mult, permite înțelegerea mai ușoară a **principiului de funcționare al acestuia.**

Pentru întrerupere, traversa contactelor mobile *15* se deplasează în jos, creînd astfel cîte două locuri de întrerupere pe fiecare fază.

Arcul electric *13*, care se formează în locurile de întrerupere, produce evaporarea și descompunerea unei părți din ulei; se formează cîte o pungă de gaze fierbinți și puternic ionizate, care înconjură canalul fiecărui arc.

Formarea gazelor are loc atît de repede, încît ele nu au timp să iasă la suprafață, ci împing în sus pătura de ulei de deasupra: la rîndul său, acest ulei lucrează ca un piston, evacuînd prin tubul *11* aerul aflat în spațiul *10*. Presiunea în interiorul cuvei *1* atinge astfel valori de 6 ... 10 at. În acest timp, contactele mobile, împinse de arcurile de declanșare *19*, se îndepărtează de ele fixe, realizîndu-se concomitent:

— *lungirea arcului electric* și creșterea efectului de răcire prin contact cu uleiul;

— creșterea cantității de gaze descompuse, deci *creșterea presiunii în cuvă*;

— *spălarea continuă a contactelor mobile cu ulei proaspăt.*

● **Calități și defecte.** Aceste întreruptoare au o *constituție simplă* (fig. 26.2), deci un *preț redus*. Ele nu necesită instalații auxiliare (așa cum necesită întreruptoarele cu aer comprimat). Funcționarea lor este corectă, chiar la variații mari ale temperaturii exterioare, și este puțin influcnțată de condițiile mediului exterior (umiditate, praf, atmosferă chimică corosivă). Întreținerea lor este ușoară.

Deficiența lor cea mai importantă este legată de faptul că, atunci cînd puterea de rupere este depășită (scurtcircuite puternice) *cuva poate exploda, explozia fiind adeseori urmată de aprinderea uleiului.*

● **Domenii de utilizare.** Întreruptoarele cu ulei mult și rupere liberă au o putere de rupere relativ mică; de aceea nu pot fi folosite decît la tensiuni

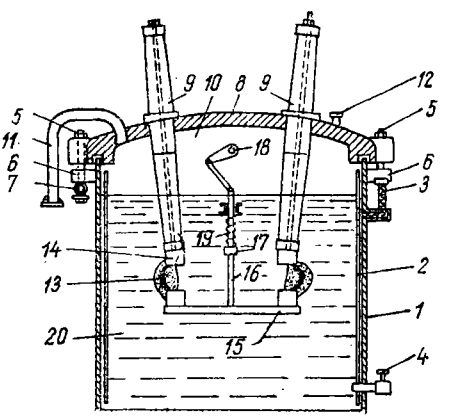


Fig. 26.1. Întreruptor cu ulei mult și rupere liberă — elemente componente:

1 — cuvă metalică; *2* — perete izolant (carton sau placaj); *3* — indicatorul nivelului de ulei; *4* — robinet de scurgere; *5* și *6* — sistem de fixare a cuvei; *7* — siguranță care se turtește în cazul unei presiuni prea mari în cuvă, permițînd evacuarea unei cantități mai mari de gaze; *8* — capac; *9* — izolator de trecere; *10* — saltea de aer; *11* — tub de evacuare a gazelor; *12* — orificiu de umplere; *13* — arc electric; *14* — contacte fixe; *15* — contact mobil; *16* — tija izolantă de antrenare a contactelor mobile; *17* și *18* — mecanism de acționare a contactelor mobile; *19* — resort de declanșare; *20* — ulei.

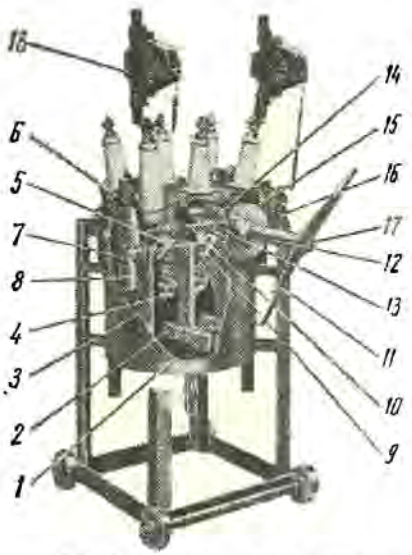


Fig. 26.2. Întreruptor cu ulei mult și rupere liberă, de interior, de 10 kV — 600 A — 200 MVA, acționat manual. Vedere generală și elemente componente:

1 — cuvă; *2* — contact mobil; *3* — tijă izolantă de susținere a contactelor mobile; *4* — contacte fixe tip deget; *5* — furcă de acționare a echipajului mobil; *6* — tijă de ghidare a echipajului mobil și resortul de declanșare; *7* — bucșă de ghidare; *8* — piston amortizor al deplasării contactelor mobile la sfîrșitul cursei; *9* — axul de susținere a contactelor mobile; *10* — ax de acționare a furcilor *5*; *11* — braț de acționare a închiderii; *12* — ax de acționare; *13* și *14* — roți dințate de transmitere a acționării asupra echipajului mobil; *15* — mecanism de blocare în poziția închis; *16* — releu electromagnetic de declanșare de la distanță; *17* — indicator de poziție; *18* — releu primar direct pentru declanșare automată la supraintensități.

și puteri de rupere relativ reduse. Aceste întreruptoare se construiesc pentru:

— tensiuni nominale cuprinse între 3 și 25 kV;

— curenți nominali de 200 ... 1 000 A;

— puteri de rupere de 50 ... 200 MVA.

În aceste domenii, însă, ele reprezintă aparate ieftine, simple, robuste și ușor de exploatat.

În ultimele decenii, datorită îndeosebi pericolelor de incendiu și date fiind progresele mari realizate în concepția și fabricația altor tipuri de întreruptoare pe care le vom analiza mai departe, producția de întreruptoare cu ulei mult și rupere liberă a încetat practic, întîlnindu-se numai în exploatare, întreruptoare de fabricație mai veche.

2. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE CU ULEI MULT ȘI CAMERĂ DE STINGERE

S-a arătat că întreruptoarele cu rupere liberă în ulei nu se construiesc decît pentru tensiuni și puteri de rupere reduse. Pentru tensiuni și puteri de rupere mai mari, s-a căutat să se îmbunătățească metoda de stingere a arcului electric, închizînd spațiul în care se formează acesta într-o *cameră de stingere* de o anumită formă, din material izolant.

Rolul camerei de stingere este de a crea condiții mai favorabile de stingere a arcului, reducînd lungimea și durata de ardere a acestuia și micșorînd totodată solicitările la care sînt supuși pereții cuvei.

În prezent sînt folosite foarte multe variante de camere de stingere. După modul de stingere a arcului, *camerele de stingere* pot fi:

- *simple*;
- *cu suflaj longitudinal de ulei*;
- *cu suflaj transversal de ulei*;
- *cu grătar de dezionizare*.

Se obțin în felul acesta întreruperea curentului în număr de 2—3 semiperioade față de 6—8 semiperioade la întreruptoarele cu rupere liberă sub ulei precum și o solicitare mai redusă a pereților cuvei (1—2 at).

C. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE CU ULEI PUȚIN

Principiul de funcționare a întreruptoarelor cu ulei puțin se bazează pe *separarea contactelor în interiorul unei camere izolante rezistente la presiuni ridicate, stingerea arcului realizîndu-se prin efectul combinat al răcirii, provocate de contactul intim al coloanei fierbinți a arcului electric cu masa de ulei rece, și al presiunii ridicate, produse de vaporizarea bruscă* a unei părți de ulei. Presiunea din interiorul camerei de stingere poate atinge 60 ... 100 at. Rezistența mecanică a pereților camerei, la aceste solicitări interioare, fiind aceea care limitează puterea de rupere garantată a întreruptoarelor cu ulei puțin, există preocuparea continuă de a mări această rezistență mecanică.

Din punctul de vedere al aspectului exterior, întreruptoarele cu ulei puțin, de medie tensiune, seamănă destul de mult între ele. O analiză mai atentă arată că există totuși importante deosebiri de la o construcție la alta, deosebiri referitoare la:

— *principiul de funcționare al camerei* de stingere;

— *soluția constructivă* de ansamblu.

În cele ce urmează se vor analiza din aceste puncte de vedere diferite tipuri de întreruptoare de medie tensiune.

1. TIPURI DE CAMERE DE STINGERE

Caracteristic pentru întreruptoarele cu ulei puțin este prezența camerei de stingere umplute cu ulei.

În figurile 26.3 și 26.4 sînt prezentate schematic cîteva forme caracteristice de camere de stingere ale întreruptoarelor cu ulei puțin.

a. Camere labirint

Modul de funcționare al camerei din figura 26.3, *a* este următorul: arcul electric, întins prin deplasarea contactului mobil, descompune o parte din uleiul conținut în cameră și vaporizează o altă parte. Gazele astfel formate împing uleiul rece din buzunarele labirintului asupra coloanei arcului electric, provocînd astfel o dezionizare puternică, îndeosebi la trecerea prin zero a valorii curentului.

Aceste camere de stingere, denumite *camere rigide* sau *camere labirint*, au următoarele particularități:

— presiune foarte mare în interiorul camerei, îndeosebi la întreruperea curenților mari de scurtcircuit;

— suflaj axial (longitudinal);

— stingerea sigură la curenți mici inductivi sau capacitivi.

Figura 26.3, *b* reprezintă o soluție care îmbunătățește condițiile de lucru ale camerei din figura 26.3, *a* prin faptul că în apropierea contactului fix sînt prevăzute deschideri care permit stingerea curenților mari de scurtcircuit cu ajutorul unui suflaj transversal de ulei, fără a produce presiuni exagerate în camera de stingere.

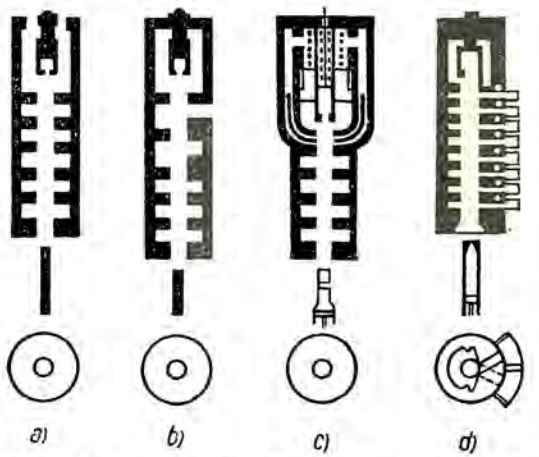


Fig. 26.3. Camere de stingere folosite la întreruptoarele cu ulei puțin:

a — cameră de tip labirint (cameră rigidă); *b* — cameră de tip labirint cu deschideri laterale; *c* — cameră cu piston diferențial; *d* — cameră cu deschideri laterale și suflaj transversal.

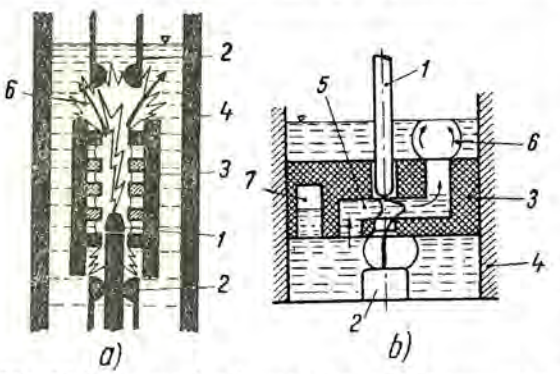


Fig. 26.4. Camere de stingere folosite la întreruptoare de medie tensiune cu ulei puțin — soluții constructive și elemente componente:

a — cameră rigidă cu suflaj axial; *b* — cameră cu autosuflaj transversal și saltea de aer.

1 — contact mobil; *2* — contact fix; *3* — cameră de stingere; *4* — perete din material izolant rezistent la presiune; *5* — canal de suflaj transversal; *6* — jet de gaze ionizate; *7* — cameră de compresiune (saltea de aer).

Curenții mici de scurtcircuit sînt stinși în porțiunea de jos a camerei, care păstrează construcția unei camere rigide cu suflaj axial. În felul acesta, prin combinarea stingerii prin suflaj transversal cu cea prin cameră rigidă și suflaj axial, s-a realizat o cameră de stingere care poate întrerupe, în condiții bune, atît curenții foarte mici, cît și curenții foarte mari de scurtcircuit.

b. Camere cu deschideri laterale

Figura 26.3, *d* reprezintă o cameră de stingere cu deschideri laterale, care folosește îndeosebi principiul suflajului transversal. Soluția aceasta este puțin folosită în construcții recente.

În afara tipurilor de camere de stingere indicate în figura 26.3 (cel mai frecvent folosite), se mai întîlnesc numeroase alte soluții constructive ca de exemplu:

- *camere de stingere cu arc electric auxiliar;*
- *camere de stingere cu saltea de aer;*
- *camere de stingere elastice.*

c. Camere cu arc electric auxiliar

Camerele de stingere cu arcul electric auxiliar, asemănătoare ca principiu de stingere celor folosite la întreruptoare cu ulei mult sînt mai puțin utilizate în construcțiile noi, deoarece durata arcului electric este relativ mare (efectul de stingere începe abia după formarea arcului auxiliar) și nu se comportă bine la reanclanșarea automată rapidă.

d. Camere cu saltea de aer

Camerele de stingere cu saltea de aer (fig. 26.4, *b*) au fost realizate pornindu-se de la următorul raționament:

— în timpul unei semiperioade, energia degajată în arc variază odată cu intensitatea curentului, trecînd printr-un maxim, practic concomitent de acesta, și fiind minimă în momentul trecerii curentului prin zero;

— pentru a realiza stingerea în bune condiții a arcului electric de curent alternativ, este necesar, însă, a se acționa cît mai energic, pentru a răci coloana de arc *numai în perioada trecerii naturale a curentului prin zero*, reducînd la minimum posibil această răcire în restul perioadei (o acțiune puternică de suflaj asupra arcului în timp ce curentul trece prin zona valorii maxime, are efecte defavorabile, deoarece mărește inutil și periculos cantitatea de gaze degajate în camera de stingere, provocînd totodată supratensiuni mari);

— rezultă, deci, că trebuie să se reducă pe cît posibil presiunea în camera de stingere în timp ce curentul trece prin valoarea de vîrf și să se mărească pe cît posibil efectul de răcire a coloanei arcului în timpul trecerii curentului prin zero.

Una din soluțiile date acestei probleme a fost de a se crea, în apropierea zonei de suflaj a arcului, cu o cameră în care să fie închisă o anumită cantitate de aer (*7*, fig. 26.4, *b*).

În timpul în care curentul și presiunea în camera *3* trec prin valoarea maximă, aerul conținut în camera *7* se comprimă, aplatisînd astfel vîrfurile de presiune și reducînd solicitarea camerei de stingere.

În timpul trecerii curentului prin zero, cînd presiunea din camera de stingere scade, aerul comprimat în modul arătat, se destinde, favorizînd trimiterea unui jet de ulei rece asupra coloanei de arc.

e. Camere elastice

Camera de stingere elastică are următorul principiu de funcționare (fig. 26.5):

— camera de stingere *3*, avînd aspectul unei camere rigide, cu buzunarele de ulei (încăperi intermediare) larg dimensionate, este apăsată puternic de un inel elastic pe un locaș circular situat deasupra contactului fix *2*. În felul acesta, spațiul din jurul contactelor este complet închis (fig. 26.5, *a*);

— *la întreruperea curenților de intensitate relativ mică* (zeci pînă la cîteva sute de amperi) camera de stingere se comportă ca o cameră rigidă, arcul electric *1* fiind stins prin pătrunderea uleiului rece din încăperile intermediare ale camerei în canalul ionizat al arcului, în momentul trecerii curentului prin zero (în această perioadă, temperatura și presiunea în coloana de arc scad brusc, dar uleiul din jurul acesteia, datorită inerției termice mult mai mari, continuă să se vaporizeze, împroșcînd în zona arcului vapori și picături de ulei);

— *în cazul apariției unor curenți mari de scurtcircuit*, presiunea în cameră crește la valori mari și la un moment dat, această presiune comprimă inelul elastic, împingînd în sus camera de stingere (fig. 26.5, *b*). Prin aceasta, se creează în vecinătatea contactului fix o zonă inelară *4*, prin care mediul din interiorul camerei, aflat la o presiune ridicată, se poate destinde brusc către regiunile în care uleiul se află la presiunea atmosferică.

Destinderea bruscă creează o răcire puternică în întreaga coloană de gaze ionizate, la care se adaugă suflajul axial puternic, favorizat de prezența spațiului de destindere de la baza camerei.

În felul acesta, sînt create condițiile întreruperii unor curenți mari de scurtcircuit, cu presiuni moderate și limitate.

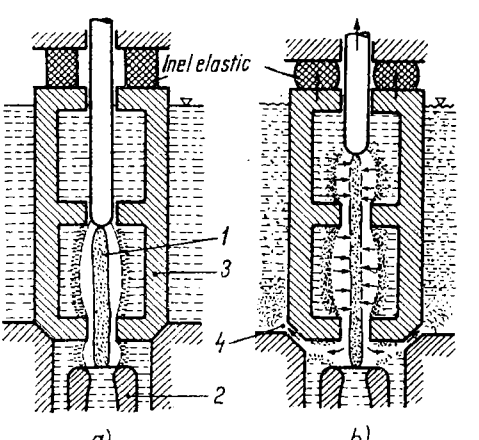


Fig. 26.5. Cameră de stingere elastică pentru întreruptoare de medie tensiune cu ulei puțin.

2. ÎNTRERUPTOARE CU ULEI PUȚIN DE MEDIE TENSIUNE. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Din punctul de vedere al soluției constructive se deosebesc și la întreruptoarele cu ulei puțin de medie tensiune mai multe variante de bază, caracterizate printre altele prin următoarele:

— sensul de deplasare al contactului mobil la deschidere;

— modul de realizare a rezistenței mecanice a camerei de stingere, la presiuni interne mari ce apar la întreruperea curentului de scurtcircuit;

— modul de susținere a polilor întreruptorului;

— existența unei cuve metalice sub tensiune sau pusă la pămînt.

Întreruptoare tip „în consolă", avînd cuvă sub tensiune

La aceste întreruptoare, deschiderea se realizează prin deplasarea contactelor mobile în sus.

● Acest întreruptor (fig. 26.6 și 26.7) prezintă următoarele **particularități**:

— camera de stingere, contactele mobile și întregul ansamblu al pieselor aflate sub tensiune sînt suspendate în consolă, cu ajutorul a două izolatoare suport fixate pe cadrul vertical al aparatului (fig. 26.6);

— camera de stingere, de tip labirint cu deschidere laterală (fig. 26.7), are pereții exteriori, care preiau efortul de presiune, din tablă sudată. Cuva camerei de stingere este deci *metalică și sub tensiune*, ceea ce aduce avantajul unei camere de stingere robuste, dar impune adoptarea unor distanțe mai mari între faze;

— pereții interiori ai camerei de stingere sînt formați din discuri ștanțate din preșpan (carton electrotehnic) sau din placaj;

— contactele mobile, din cupru, sînt acționate de sus prin intermediul unor izolatoare de porțelan.

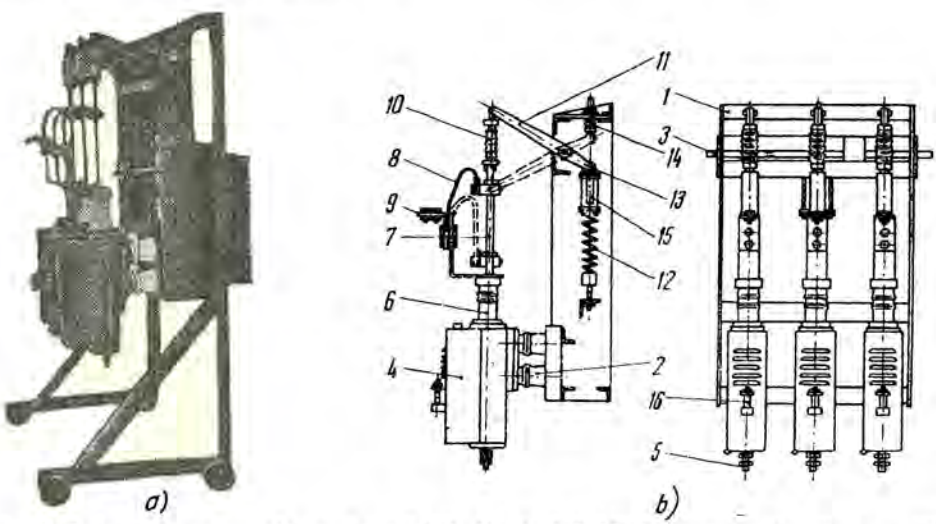


Fig. 26.6. Întreruptor cu ulei puțin (10 kV, 630 A, 350 MVA), construcție „în consolă" avînd cuvă metalică sub tensiune:

a — vedere generală; *b* — elemente componente.

1 — cadru de susținere din profile sudate; *2* — izolator suport; *3* — ax de acționare a contactelor mobile; *4* — cuvă metalică sub tensiune (cameră de stingere); *5* și *9* — borne de legare la rețea; *6* — izolator de trecere; *7* — contact mobil; *8* — legătură conductoare flexibilă; *10* — tijă izolantă pentru acționarea contactului mobil; *11* — pîrghie de acționare; *12* — resort de acționare la deschidere; *13* — braț de pîrghie pentru amortizarea mișcării echipajului mobil; *14* — amortizor cu resort la închidere; *15* — amortizor cu piston de ulei la deschidere; *16* — indicator de nivel de ulei.

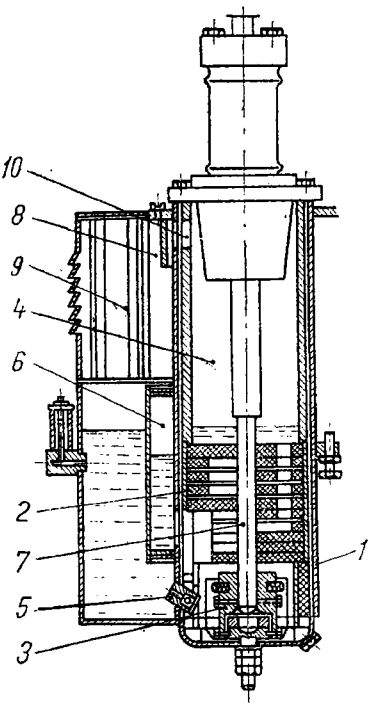


Fig. 26.7. Camera de stingere de tip labirint a întreruptorului din figura 26.6:

1 — cuvă de rezistență din alamă sudată; *2* — elemente ale camerei de stingere; *3* — contact fix lalea; *4* — spațiu de destindere; *5* — ventil de egalizare a nivelului de ulei; *6* — acumulator de presiune (saltea de aer); *7* — contact mobil; *8* — cameră de expandare; *9* — jaluzele de legătură cu exteriorul; *10* — orificii de evacuare a gazelor.

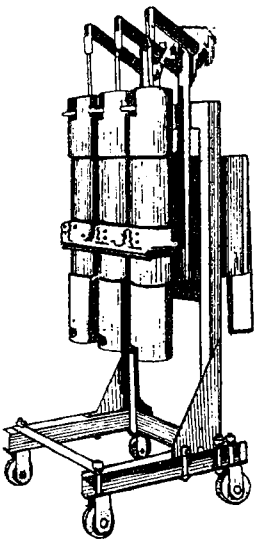


Fig. 26.8. Întreruptor cu ulei puțin, de medie tensiune, construcție pentru solicitări ușoare (20 kV, 400 A, 250 MVA).

● **Acționarea întreruptorului** poate fi: *manuală, pneumatică* sau *prin arc întins cu ajutorul unui servomotor.*

Întreprinderea „Electroputere" a perfecționat această construcție fiind singura care le realizează și la tensiunile nominale de 15 și 20 kV.

Este una din cele mai sigure construcții pentru climatul tropical (TH și TA).

b. Întreruptoare cu ulei puțin cu cameră izolată și deschidere prin deplasarea contactelor în sus

O construcție diferită de cea precedentă este reprezentată în figura 26.8.

● **Particularitățile** constructive ale acestei soluții sînt următoarele:

— camera de stingere, de asemenea de tipul celei din figura 26.7, este închisă într-un cilindru izolant din hîrtie bachelizată, care preia și solicitările de presiune ce apar în interior în timpul întreruperii;

— la deschidere, contactele mobile se deplasează în sus, fiind acționate prin tije din material izolant stratificat.

Deosebirea fundamentală între acest întreruptor și cel din figura 26.6 constă în faptul că acesta din urmă are camera de stingere închisă într-un tub izolant, ceea ce a permis:

— distanțe mai mici între faze;

— alegerea unui alt mod de suspendare a fazelor de cadru.

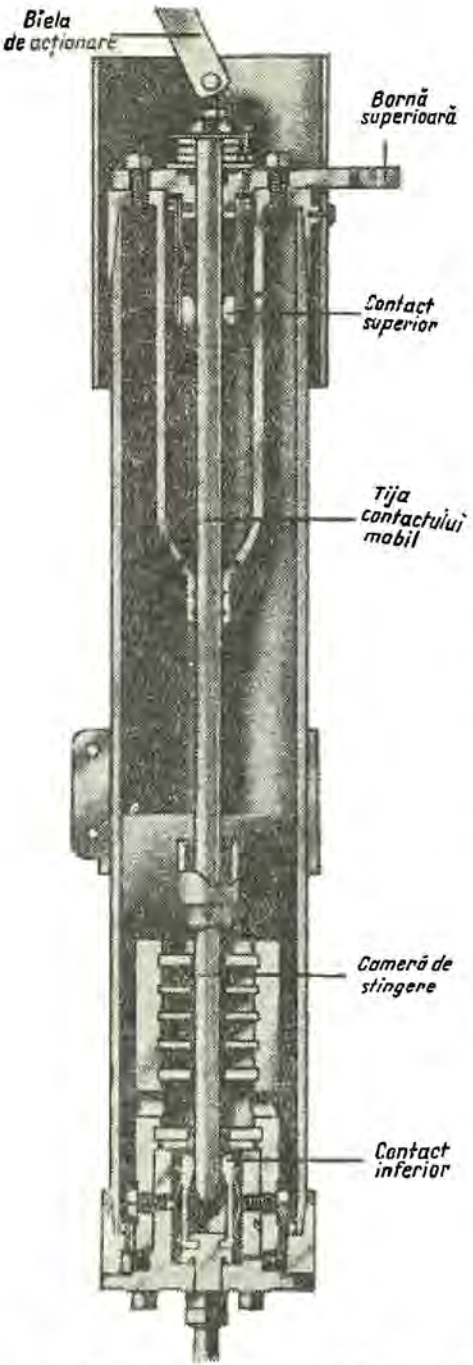


Fig. 26.9. Secțiune printr-o fază a întreruptorului din figura 26.14.

În figura 26.9 este reprezentată o secțiune prin acest întreruptor. El este realizat pentru tensiuni nominale de 6—20 kV, curent nominal de 400 A și putere de rupere de 250 MVA.

Întreruptoarele la care deschiderea se realizează prin deplasarea în sus a contactului mobil (fig. 26.6 și 26.8) sînt, din punct de vedere tehnologic, mai ușor de realizat, deoarece reazemul pe care se sprijină biela de ridicare a contactului mobil poate fi plasat în afara polului, pe cadranul comun de susținere, ceea ce simplifică mult construcția polilor întreruptorului. În același timp, problemele de etanșare a cuvei împotriva scurgerilor de ulei sînt mai simple. Deplasarea contactului mobil în sus, la deschidere, face însă ca acesta să se ridice concomitent cu gazele ionizate produse de arcul electric, ceea ce menține în permanență în jurul contactului mobil un mediu de gaze ionizate și reduce puterea de rupere a întreruptorului.

De aceea, soluția este folosită la întreruptoare pentru solicitări ușoare (puteri de rupere relativ mici: 250 ... 350 MVA), acolo unde se cere întreruptor ieftin și care să nu necesite o întreținere foarte calificată.

26.5 Întreruptoare de medie tensiune tip „coloană"

Un pas mai departe în perfecționarea întreruptoarelor cu ulei puțin, de medie tensiune, în sensul creșterii puterii de rupere cu menținerea unor gabarite reduse, îl constituie întreruptorul tip „coloană" prezentat în figurile 26.10 și 26.11.

● **Particularitățile** acestui întreruptor sînt:

— corpul său este format dintr-un cilindru izolant, din rășini de turnare cu țesături de sticlă;

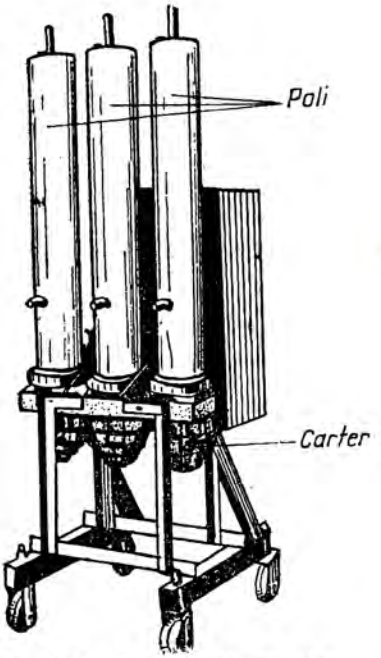


Fig. 26.10. Întreruptor cu ulei puțin (20 kV, 1 250 A, 500 MVA) tip colcană.

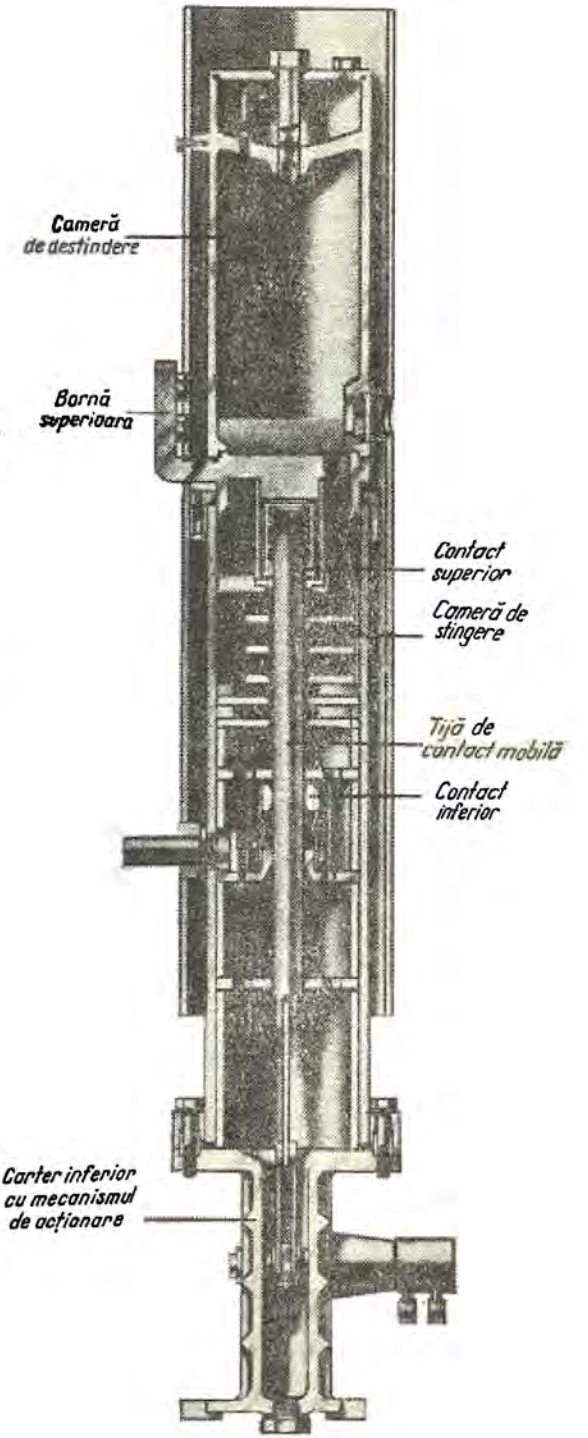


Fig. 26.11. Secțiune printr-o fază a unui întreruptor de construcție similară celui din figura 26.16.

— coloanele se sprijină pe cartere * de fontă, legate la masă (ceea ce permite distanțe reduse între faze);

— la deschiderea contactului mobil se deplasează în jos (biela de acționare fiind în carter), ceea ce permite realizarea unor puteri mai mari de rupere, prin faptul că, în mișcarea sa, contactul mobil se cufundă în pături de ulei reci, în timp ce bulele de gaze ionizate se deplasează către partea superioară a camerei de stingere;

— camera de stingere, fiind de tipul celei din figura 26.3, *b* este confecționată din materiale izolante stratificate (hîrtie bachelizată sau, la solicitări mai grele, pînză de sticlă în rășini de turnare).

● **Acționarea** întreruptorului se execută prin arc, întins cu ajutorul unui servomotor.

● **Mărimi nominale.** Acest întreruptor, din ce în ce mai des întîlnit, este construit pentru tensiuni nominale de 10, 20 și 30 kV și curenți nominali de 630 și 1 250 A, realizînd puteri de rupere de 750 MVA la 15 kV.

3. ÎNTRERUPTOARE CU ULEI PUȚIN DE FOARTE ÎNALTĂ TENSIUNE (110—765 kV), SOLUȚII CONSTRUCTIVE

a. Întreruptoare cu rupere unică

Pentru a se trece la realizarea unor întreruptoare cu ulei puțin capabile să reziste la solicitările care apar în rețelele de tensiune mai înaltă, a trebuit să fie rezolvate două probleme de bază:

— *îmbunătățirea camerei de stingere,* astfel încît să poată întrerupe puteri mari la tensiuni foarte înalte;

— *realizarea unei izolații față de masă a camerei de stingere, pe măsura tensiunilor folosite.*

În ceea ce privește camera de stingere, încercările au arătat că, prin lungirea și mărirea rezistenței mecanice a camerelor de stingere folosite la întreruptoarele de medie tensiune, se pot realiza întreruptoare cu o *singură cameră de stingere* pînă la tensiunea de 220 kV.

Au fost folosite în acest scop, îndeosebi:

— camera rigidă (v. fig. 26.3, *a*);

— camera cu deschideri laterale (v. fig. 26.3, *b*);

— camera elastică (v. fig. 26.5).

S-au obținut performanțe din ce în ce mai bune prin utilizarea materialelor izolante moderne (plăci și tuburi din țesătură de sticlă impregnată cu rășini epoxidice), care au mărit mult rezistența mecanică a camerelor de stingere.

În ceea ce privește izolarea față de masă a camerei de stingere, s-a arătat în capitolul precedent că întreruptoarele cu ulei puțin s-au dezvoltat din întreruptoarele cu ulei mult cu cameră de stingere, la care:

— s-a menținut camera de stingere umplută cu ulei cu rolul de a stinge arcul electric care se formează la întreruperea curentului;

— s-a renunțat la izolarea prin ulei a căilor de curent, folosindu-se în schimb soluția suspendării camerei de stingere pe un suport izolant.

În cadrul întreruptoarelor de 110 kV și mai mult, pentru izolarea față de masă a camerei de stingere s-a folosit un izolator-suport vertical, umplut cu

* Carter = cuvă metalică în care se află și uleiul.

ulei, deasupra căruia se montează camera de stingere, introdusă de asemenea într-un izolator de porțelan umplut cu ulei.

În felul acesta întreruptoarele cu ulei puțin de foarte înaltă tensiune au luat forma unor coloane verticale, formate din cîte două izolatoare suprapuse, totul fiind susținut pe un soclu metalic în care sînt elementele dispozitivului de acționare (fig. 26.12).

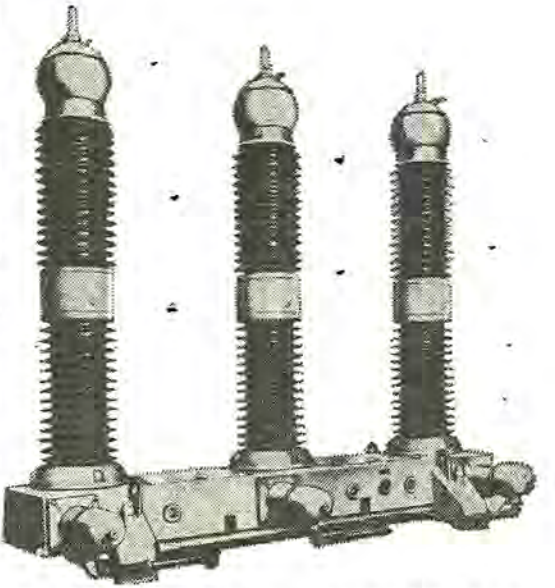


Fig. 26.12. Întreruptor cu ulei de 110 kV, tip coloană.

Fiecare pol al unui astfel de întreruptor este format din trei elemente distincte (fig. 26.13):

— *elementul de întrerupere* (camera de stingere și căile de curent), conținut în izolatorul superior, care este umplut cu ulei pînă la un anumit nivel;

— *izolatorul-suport*, plin cu ulei, prin care trece tija de acționare a contactului mobil;

— *soclul*, cu mecanismul de acționare.

În figura 26.14 este reprezentată o secțiune numai prin izolatorul superior (camera de stingere) al unui pol al întreruptorului cu ulei puțin, de foarte înaltă tensiune.

În această figură se deosebesc:

— camera de stingere *5* de tip labirint, cuprinsă în interiorul unui cilindru izolant *4* de mare rezistență mecanică;

— tija contactului mobil *7*, cu deplasarea în jos la deschidere;

— prezența, lîngă contactele principale de lucru *2* și *8*, a contactelor de rupere *3* și *6* pe care formează arcul electric, pentru a se evita uzura prin arc a contactelor principale.

Trebuie reținut, faptul că *între camera superioară și cea inferioară nu există comunicație decît printr-un orificiu foarte mic, care asigură numai schimbul de ulei datorit dilatărilor.*

Practic, cele două camere sînt separate între ele, deoarece ele conțin ulei de calități diferite:

— *în izolatorul superior*, uleiul este în permanență în contact cu atmosfera, iar în timpul operațiilor de întrerupere se produce carbonizarea lui puternică. Pentru aceste motive, uleiul din camera superioară își pierde repede proprietățile izolante, care dealtfel nici nu sînt necesare, deoarece, în camera superioară uleiul este folosit în primul rînd ca mediu de stingere și, în măsură mult mai redusă, ca izolant;

— *izolatorul inferior* are, din punct de vedere electric, numai funcția de a asigura izolarea față de masă a căilor de curent. De aceea, este necesar ca uleiul din camera inferioară să-și păstreze proprietățile izolante.

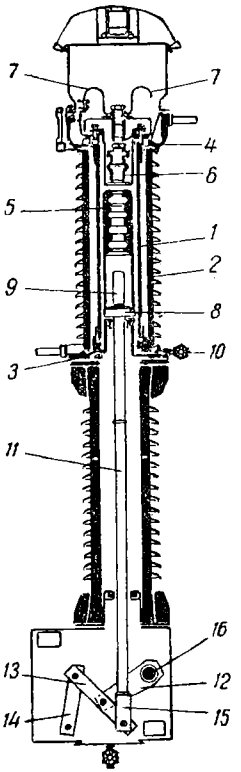
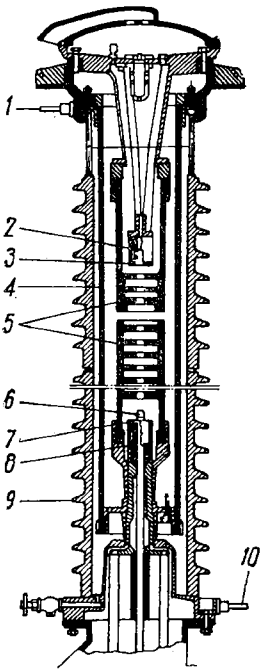


Fig. 26.13. Elementele principale ale unui întreruptor cu ulei puțin, de foarte înaltă tensiune tip coloană:

1 — tub izolant, rezistent la presiune, din rășină de turnare și țesătură de sticlă; *2* — izolator de protecție din porțelan; *3* și *4* — flanșe de fixare a izolatorului *2*, avînd fixate pe ele și bornele de racord la linie; *5* — cameră de stingere din izolanți stratificați, rezistenți la presiune și la acțiunea arcului electric; *6* — contactul superior; *7* — legătura elastică conductoare la contactul superior; *8* — contact de alunecare, stabilind legătura între contactul mobil și borna inferioară; *9* — tija contactului mobil; *10* — robinete de evacuare a uleiului din cele două izolatoare; *11* — tijă izolantă de acționare a contactului mobil; *12*... *16* — elemente ale mecanismului de acționare.

←



→

Fig. 26.14. Secțiune prin izolatorul superior (elementul de întrerupere) al unui întreruptor cu ulei puțin tip coloană:

1 și *10* — bornele de racord la linie; *2* și *8* — contacte principale de lucru; *3* și *6* — contactul de uzură fix și cel mobil; *4* — cilindru izolant rezistent la presiune; *5* — cameră de stingere tip labirint, cu suflaj longitudinal; *7* — tija contactului mobil; *9* — izolator de porțelan.

b) Întreruptoare cu ulei puțin, cu rupere multiplă

Pe principiile analizate mai înainte, adică prin lungirea camerei de stingere și îmbunătățirea rezistenței mecanice a acesteia, au fost realizate foarte multe întreruptoare cu ulei puțin, de 110 kV și unele construcții de 220 kV, care folosesc *o singură cameră de stingere pe fiecare fază*. Aceste întreruptoare sînt numite *„întreruptoare cu ulei puțin și rupere unică"*.

La realizarea întreruptoarelor cu ulei puțin și rupere unică de 220 kV s-au întîmpinat însă importante dificultăți, legate de lungimea prea mare a camerei și de problema realizării unei viteze suficient de mari a contactelor mobile (întreruperea trebuind să se realizeze în 2—3 semiperioade, oricare ar fi valoarea tensiunii nominale, apare necesitatea de a mări viteza de separare a contactelor odată cu creșterea tensiunii nominale a aparatului).

Aceleași motive au făcut imposibilă realizarea întreruptoarelor cu ulei puțin și rupere unică pentru tensiuni peste 220 kV.

Pentru înlăturarea acestor dificultăți, constructorii de întreruptoare cu ulei puțin au creat întreruptorul cu ulei puțin și *rupere multiplă*, caracterizat prin faptul că *pe aceeași fază sînt montate în serie mai multe camere de stingere, ale căror contacte mobile se închid și deschid simultan.*

● **Construcția.** Elementele principale ale unui astfel de întreruptor sînt reprezentate în figura 26.15, iar camerele de stingere în figura 26.16.

Prin folosirea principiului ruperii multiple la întreruptoarele cu ulei puțin, s-a realizat:

— posibilitatea folosirii întreruptoarelor cu ulei puțin pînă la tensiunile cele mai mari folosite în prezent (1 050 kV);

— îmbunătățirea comportării întreruptoarelor cu ulei puțin în ceea ce privește întreruperea liniilor în gol, reducerea timpilor proprii și a duratei arcului electric și alte îmbunătățiri, obținute îndeosebi prin posibilitatea măririi vitezei de deschidere a contactelor mobile;

— posibilitatea de a se realiza întreruptoare de tensiuni nominale diferite, pînă la tensiunile cele mai mari, folosindu-se un număr de *camere de stingere elementare identice*, ceea ce permite fabricarea în serie mare a camerelor de stingere, cu toate avantajele tehnice și economice care decurg din aceasta;

— posibilitatea efectuării tuturor încercărilor de verificare și perfecționare a camerelor de stingere, *prin încercări pe camera elementară*, deci la tensiuni reduse, ceea ce reduce deosebit de mult cheltuielile legate de perfecționarea constructivă și verificarea performanțelor.

Folosirea principiului ruperii multiple presupune însă repartizarea egală a solicitărilor pe fiecare cameră de rupere și, în primul rînd, repartizarea egală a tensiunii care apare la bornele fiecărei camere de stingere în momentul imediat următor întreruperii („tensiune de revenire").

Deoarece, în general, repartizarea naturală a tensiunii de revenire pe elemente nu este satisfăcătoare, se recurge la metode de repartizare impuse prin rezistențe sau prin capacități montate în paralel cu camerele de stingere.

4. UTILIZARE, ÎNTREȚINERE ȘI EXPLOATARE

Întreruptoarele cu ulei puțin se construiesc atît ca aparate de interior, cît și ca aparate de exterior, pentru toată gama de tensiuni și puteri nominale, de la 10 kV și 100 MVA pînă la 420 kV și 20 000 MVA, putînd acoperi în prezent, practic, toate domeniile de utilizare.

În ceea ce privește întreținerea și exploatarea întreruptoarelor cu ulei puțin, trebuie reținute următoarele:

• *întreruptoarele cu ulei puțin se depozitează în spații curate, uscate și lipsite de praf sau de agenți corosivi.* Dacă nu se pot realiza aceste condiții, pentru a se evita pătrunderea umidității în pereții camerei de stingere, aceasta se umple cu ulei de transformator; în general, este de preferat ca întreruptorul să fie menținut plin cu ulei și în cursul perioadelor de depozitare sau nefuncționarea îndelungată;

• de asemenea, *pentru conservarea în timpul depozitării, se ung piesele metalice și mecanismele cu un strat subțire de vaselină neutră, iar întreruptorul se acoperă cu o manta de protecție împotriva prafului.* Întreruptoarele se depozitează în poziția deschis, pentru a nu solicita în mod inutil arcurile și pentru a evita unele accidente care ar putea să se producă prin declanșare la manipulare neatentă;

• *la montare se curăță toate piesele de unsoare, de praf și depuneri, se îndepărtează uleiul de umplere din timpul depozitării, spălîndu-se camera de stin-*

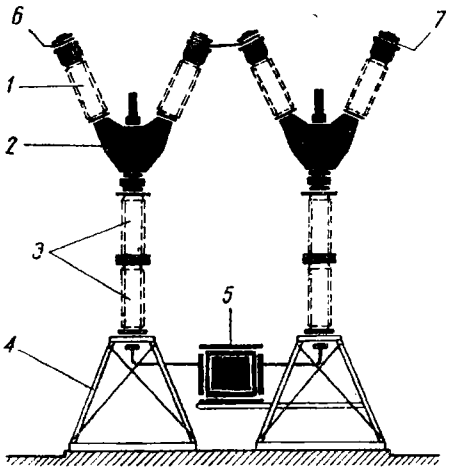


Fig. 26.15. Întreruptor cu ulei puțin și rupere multiplă — elemente principale:

1 — cameră de stingere; *2* — carter; *3* — coloană de izolatoare-suport; *4* — soclu; *5* — bloc de comandă al acționării; *6* și *7* — borne de intrare, respectiv de ieșire.

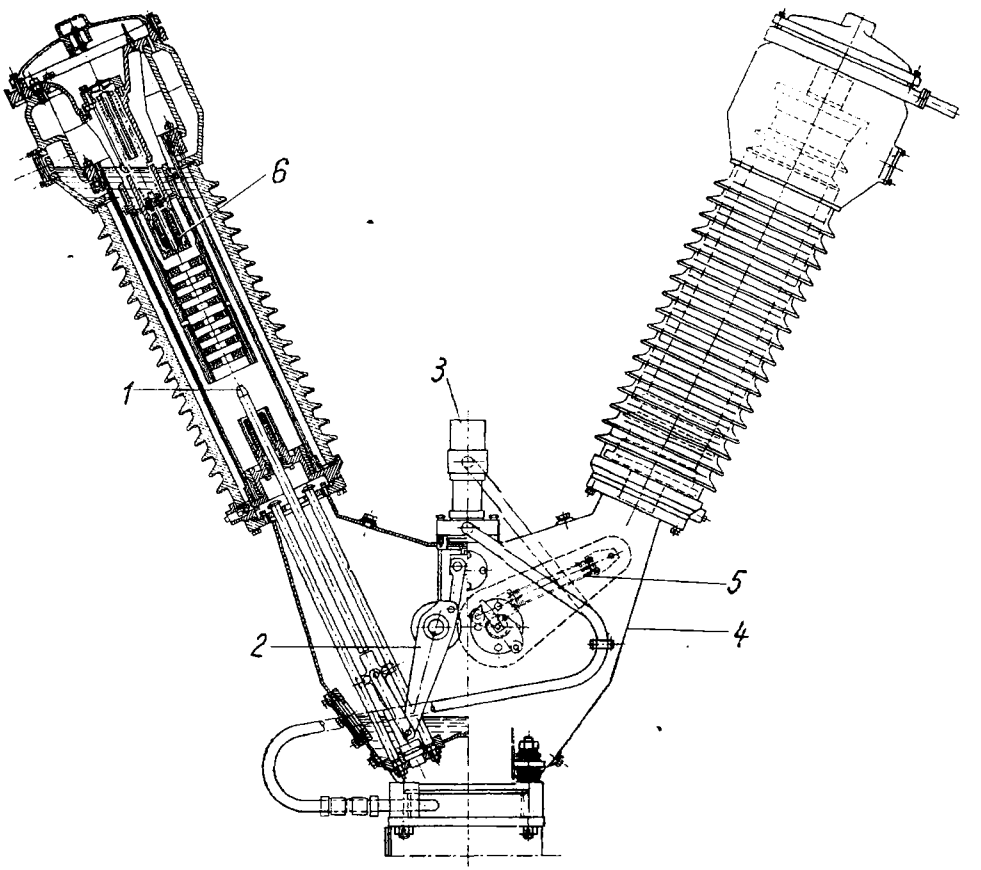


Fig. 26.16. Ansamblu de două camere de stingere ale întreruptorului din figura 26.21.:

1 — contact mobil; *2* — bielă de acționare a contactului mobil; *3* — piston de acționare cu ulei sub presiune; *4* — carter; *5* — resort spiral care ține contactele în poziția „închis" sau „deschis"; *6* — contact fix (tulpină).

gere cu ulei curat, și se umple aceasta cu ulei de transformator proaspăt și uscat, după ce au fost terminate toate operațiile de montare și au fost făcute toate legăturile electrice (verificîndu-se buna stare a contactelor). Umplerea se efectuează încet și numai pînă la nivelul indicat;

• *funcționarea corectă a mecanismelor de închidere și deschidere se verifică numai cu camera de stingere și amortizatorul umplute cu ulei.* În caz contrar, se pot produce grave deteriorări mecanice ale întreruptorului.

○○○ **Important.** Se atrage în mod deosebit atenția asupra faptului că *manevrarea întreruptorului, pentru verificări mecanice de funcționare, fără ca acesta să fie complet umplut cu ulei, duce la avarierea lui,* deoarece dacă întreruptorul nu este complet umplut cu ulei, amortizorul nu-și poate îndeplini funcțiunea și organele întreruptorului sînt supuse unor lovituri brutale atît la închidere, cît și la deschidere.

D. ÎNTRERUPTOARE CU AER COMPRIMAT

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Primele întreruptoare de înaltă tensiune folosite au fost cele cu ulei mult. Deoarece acestea produceau uneori accidente grave prin explozia cuvei și aprinderea uleiului, s-au căutat soluții la care pericolul de explozie sau de incendiu să fie exclus. Una dintre soluții a constituit-o utilizarea *întreruptoarelor cu apă*; altă soluție, cu rezultate mult mai importante, o constituie *întreruptoarele cu aer comprimat.*

Oricare ar fi tipul de întreruptor de curent alternativ, pentru a obține stingerea arcului electric format la întrerupere între contacte, este necesar ca, la trecerea curentului prin zero, să se îndepărteze cît mai repede mediul ionizat dintre contacte, înlocuindu-l printr-un mediu rece, cu mare rigiditate dielectrică. În cazul întreruptoarelor cu aer comprimat, *stingerea arcului electric se obține trimițîndu-se, asupra spațiului dintre contacte, un jet de aer comprimat, care spală și îndepărtează gazele ionizate și, prin rigiditatea sa dielectrică mare, împiedică reaprinderea arcului.*

Pentru a se obține o putere de rupere cît mai mare, cu un consum redus de aer comprimat, au fost folosite diferite tipuri de camere de stingere (fig. 26.17).

Încercările au arătat că atît suflajul longitudinal (axial), cît și cel transversal, prezintă avantaje și dezavantaje; *suflajul longitudinal* realizează răcirea arcului pe întreaga sa suprafață exterioară și folosirea optimă a aerului de stingere, pe cînd *suflajul transversal,* deși acționează numai asupra unei părți a arcului electric, are avantajul de a înlătura mai radical gazele ionizate în timpul trecerii curentului prin zero, realizînd astfel o stingere rapidă a arcului.

Cele mai bune rezultate s-au obținut folosind *camere de stingere cu o formă specială,* în care piesele de contact sînt una în formă de tijă și cealaltă

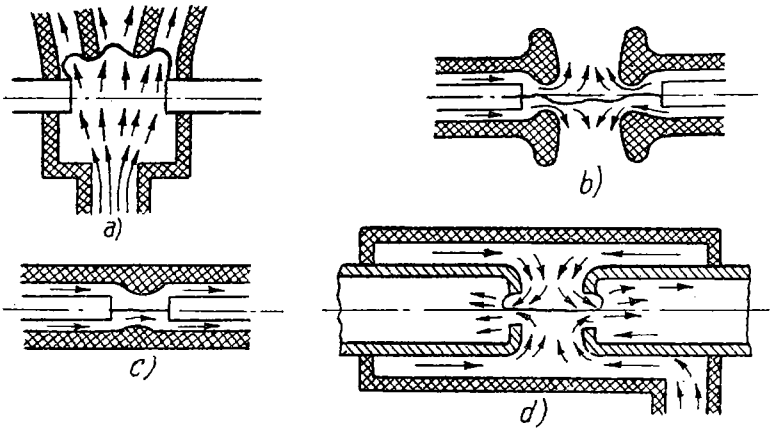


Fig. 26.17. Tipuri de cameră de stingere folosite la întreruptoarele cu aer comprimat:
a — suflaj transversal; *b*, *c* şi *d* — suflaj longitudinal (axial).

în formă de inel (ajutaj), aerul comprimat fiind suflat paralel cu tija (fig. 26.18). Se realizează în felul acesta, o îmbinare a avantajelor suflajului longitudinal cu cele ale suflajului transversal deoarece:

— pe cea mai mare parte a lungimii, arcul electric este suflat longitudinal de curentul de aer proaspăt, realizîndu-se răcirea arcului pe toată suprafaţa sa;

— în interiorul ajutajului, curentul de aer este îndreptat radial asupra coloanei de arc, determinînd o puternică deionizare în interiorul coloanei acestuia şi favorizînd astfel restabilirea rigidităţii dielectrice * la trecerea naturală a curentului prin zero;

— în acelaşi timp, îngustarea provocată de inel în calea curentului de aer menţine o presiune ridicată în spaţiul dintre contacte, mărind mult rigiditatea dielectrică a acestuia şi împiedicînd astfel reamorsarea arcului.

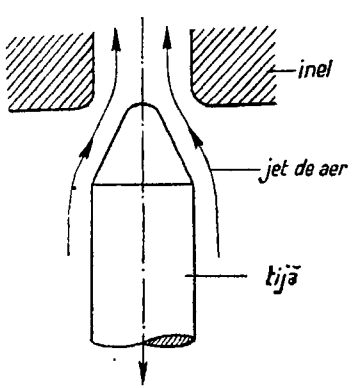


Fig. 26.18. Principiul de funcţionare al suflajului prin ajutaj.

Aceste proprietăţi au determinat folosirea suflajului prin ajutaj, practic la toate întreruptoarele de înaltă tensiune.

○○○ **Important.** Cercetările efectuate pentru a obţine îmbunătăţirea performanţelor camerelor de stingere ale întreruptoarelor cu aer comprimat au arătat că, *pentru un ajutaj dat, există o anumită valoare maximă a curentului care poate fi întrerupt cu certitudine.* Dacă această valoare este depăşită, diametrul arcului electric ocupă o parte importantă din secţiunea ajutajului şi, prin dilatarea puternică a gazelor încălzite de arc, apare o contrapresiune

* Rigiditatea dielectrică a aerului creşte cu presiunea, creşterea fiind importantă îndeosebi la presiuni pînă la 15—20 at.

care „înfundă" ajutajul, împiedicînd curentul de aer proaspăt să-şi îndeplinească funcţiunea de răcire şi deionizare a coloanei de arc.

Pentru mărirea capacităţii de stingere a arcului este necesar să se mărească secţiunea ajutajului, ceea ce duce, însă şi la o creştere importantă a consumului de aer comprimat, fără a se obţine şi creşteri corespunzătoare ale puterii de rupere.

Deoarece viteza jetului de aer prin ajutaj atinge viteze apropiate de viteza sunetului, chiar la presiuni de ordinul a 15 at. mărirea presiunii aerului comprimat nu determină creşteri importante ale puterii de rupere.

Aceleaşi cercetări au arătat că, din punct de vedere economic, dimensionarea camerelor de stingere cu suflaj de aer prin ajutaje prezintă un optim în domeniul tensiunilor de serviciu cuprins între 30 şi 85 kV, în funcţie de modul de realizare a ajutajului.

Această limitare a posibilităţilor camerelor de stingere cu ajutaj a impus ca, la tensiuni nominale mai mari, să se folosească *mai multe camere de stingere în serie*. Principiul „ruperii multiple" a apărut astfel ca o consecinţă naturală a posibilităţilor limitate ale camerelor de stingere cu ajutaj, pe de o parte, şi pentru a răspunde necesităţii de a se realiza întreruptoare cu aer comprimat pentru tensiuni înalte, pe de altă parte.

Ulterior, s-a dovedit însă că „ruperea multiplă" prezintă şi importante avantaje, arătate şi la întreruptoarele cu ulei puţin.

2. CALITĂŢI ŞI DEFICIENŢE ALE ÎNTRERUPTOARELOR CU AER COMPRIMAT

Se construiesc în prezent întreruptoare cu aer comprimat pentru întreaga gamă de tensiuni nominale de la 30 la 1 100 kV.

Întreruptoarele cu aer comprimat de medie tensiune sînt îndeosebi întreruptoare pentru utilizări speciale:

— întreruptoare de generator, avînd curenţi nominali de 6 ... 36 kA;

— întreruptoare pentru locomotive electrice (montate pe locomotive);

— întreruptoare pentru cuptoare cu arc, la care frecvenţa de conectare este de cîteva zeci de conectări pe zi.

Întreruptoarele cu aer comprimat de foarte înaltă tensiune sînt toate de tipul cu rupere multiplă, evitîndu-se în prezent soluţia cu separator exterior.

Progrese importante au fost obţinute în ultimii ani în construcţia întreruptoarelor de foarte înaltă tensiune, cu aer comprimat, îndeosebi prin măsuri care asigură menţinerea unei presiuni ridicate a aerului comprimat în *camera de stingere* în tot intervalul fazei de întrerupere. S-au obţinut astfel capacităţi de stingere a arcului pînă la 80 kA.

● **Calităţile principale** ale întreruptoarelor cu aer comprimat sînt:

— înlăturarea completă a pericolului de incendii şi explozii;

— putere de rupere foarte mare;

— întrerupere extrem de rapidă a curenţilor de scurtcircuit (0,01—0,03 s);

— funcţionare sigură şi exploatare simplă;

— greutate şi gabarite mici;

— permit realizarea, cu elemente tipizate, a unor întreruptoare pînă la cele mai mari tensiuni şi puteri (s-au realizat camere de stingere cu o capacitate de rupere de 80 kA);

— performanțele camerelor de stingere se pot predetermina prin calcul și verifica prin încercări, mai ușor și mai sigur decît este posibil acest lucru la întreruptoarele cu ulei puțin.

● **Deficiențele** mai importante sînt:

— construcție mai complicată;

— necesită instalație de aer comprimat;

— mediul de stingere fiind furnizat de o sursă exterioară, totdeauna în aceeași cantitate, care nu depinde de curentul întrerupt, și care este dozată pentru întreruperea curenților mari de scurtcircuit, întreruperea curenților mici are loc prea brusc, putînd provoca supratensiuni. Acest neajuns se remediază prin înserierea, în momentul întreruperii, a unor rezistențe care îmbunătățesc condițiile de rupere;

— la întreruptoarele cu aer comprimat prevăzute cu separator exterior, acesta reprezintă punctul cel mai delicat al întreruptorului, deoarece trebuie să funcționeze corect și în cazul cînd pe contacte s-a depus gheață;

— deschiderea și închiderea întreruptorului cu aer comprimat este însoțită de un zgomot puternic;

— întreruptoarele cu aer comprimat pierd o parte importantă din puterea nominală de rupere în circuite în care restabilirea tensiunii la bornele întreruptorului se realizează foarte repede (așa cum se constată, de exemplu, în cazul unor scurtcircuite care au loc la o distanță de stație în jurul a un kilometru — „defect kilometric");

— folosirea camerelor sub presiune impune condiții foarte severe în ceea ce privește etanșarea și calitatea pieselor turnate, fiind necesare piesele turnate complet lipsite de pori.

E. ÎNTRERUPTOARE CU AUTOCOMPRESIE

Întreruptoarele cu aer comprimat au, pe lîngă foarte multe calități, dezavantajul că necesită o instalație producătoare de aer comprimat, care pentru stațiile de putere și tensiune mică este prea costisitoare.

În scopul folosirii avantajelor întreruperii cu aer comprimat, eliminînd totuși instalația auxiliară pentru comprimarea aerului, s-au construit întreruptoare care *își produc singure aer comprimat în spațiul de întrerupere.*

Cantitatea de aer trimisă asupra contactelor este însă mică (circa 1 l aer pe fază, față de cîteva sute de litri de aer, cît folosesc, la o întrerupere, întreruptoarele cu aer comprimat). De aceea, puterea de rupere a acestor întreruptoare este mică, ele încadrîndu-se toate în grupa separatoarelor de sarcină, care vor fi analizate mai departe.

F. ÎNTRERUPTOARE CU AUTOFORMARE DE GAZ

Pornindu-se de la aceeași idee, de a folosi avantajele întreruperii cu aer comprimat, eliminînd însă instalațiile producătoare de aer, au fost construite întreruptoare a căror funcționare *se bazează pe faptul că anumite materiale izolante* (fibra, sticla organică sau plexiglasul) *au proprietatea de a degaja o mare cantitate de gaze sub acțiunea temperaturii înalte a arcului electric.*

Întreruptorul este astfel construit, încît arcul electric care se formează la deschiderea contactelor este atras între pereții înguști din material izolant generator de gaze; gazele produse (hidrogen, bioxid de carbon, vapori de apă) creează o presiune mare și un suflaj energic asupra arcului, provocînd stingerea sa rapidă.

Aceste întreruptoare se construiesc *numai ca aparate de interior*, pentru tensiuni nominale pînă la 25 kV și puteri de rupere pînă la 300 MVA.

Ele prezintă, printre altele, avantajul simplității și al unui preț redus, dar au și o serie de deficiențe, cea mai importantă fiind aceea că, prin funcționare, materialul generator de gaze se uzează, reducîndu-se, prin aceasta, posibilitățile de stingere a arcului electric.

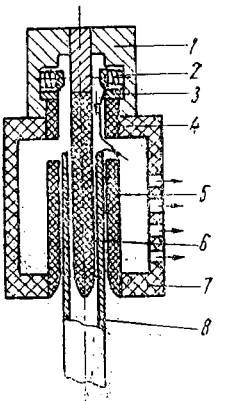


Fig. 26.19. Camera de stingere a unui întreruptor cu autoformare de gaze pentru întreruperea curenților de scurtcircuit:

1 — camera de presiune; *2* — contact fix; *3* — contact de rupere; *4* — inel de stingere; *5* — tub de stingere; *6* — știft de stingere (reperele *4*, *5* și *6* — sînt din material generator de gaze); *7* — cameră de destindere a gazelor; *8* — contact mobil.

Camera de stingere a unui astfel de întreruptor este reprezentată în figura 26.19, în care este indicat modul de întrerupere a curenților de scurtcircuit cînd, datorită valorii mari a curentului, cantitatea de gaze degajate este mare și curentul este repede întrerupt la ieșirea contactului mobil din camera de presiune *1*, sub efectul destinderii bruște a gazelor în camera *7*.

În cazul în care curentul ce trebuie întrerupt este de intensitate mică, arcul este alungit în spațiul îngust tubular dintre reperele *5* și *6*, care sînt executate din material generator de gaze, realizîndu-se astfel o stingere blîndă și a curenților mici.

6. ÎNTRERUPTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE CU RUPERE ÎN AER LIBER

● **Principiul de funcționare.** Întreruptoarele de înaltă tensiune cu rupere în aer liber au fost construite, de asemenea, cu scopul de a se obține întreruptoarele de medie tensiune fără ulei și care să nu necesite instalații de aer comprimat.

Aceste întreruptoare folosesc pentru stingerea arcului electric îndeosebi *suflajul magnetic*, asemănîndu-se, din acest punct de vedere, cu contactoarele și întreruptoarele de joasă tensiune în aer.

● **O soluție interesantă de stingere a arcului electric** este reprezentată în figura 26.20. Principiul de funcționare este următorul: arcul electric, amorsat între contactele de rupere *1*, este împins prin suflaj magnetic între coarnele de suflaj *2* apoi, cu ajutorul bobinelor de suflaj *3—4*, în camera de stingere *5*. Camera de stingere este formată din plăci ceramice paralele, prevăzute în partea interioară cu călăreți de cupru de o anumită formă. Ajungînd la călăreți, arcul este împins între plăcile reci, luînd forma unor bucle înseriate (solenoid). Cîmpul magnetic propriu al solenoidului întinde buclele, astfel încît arcul

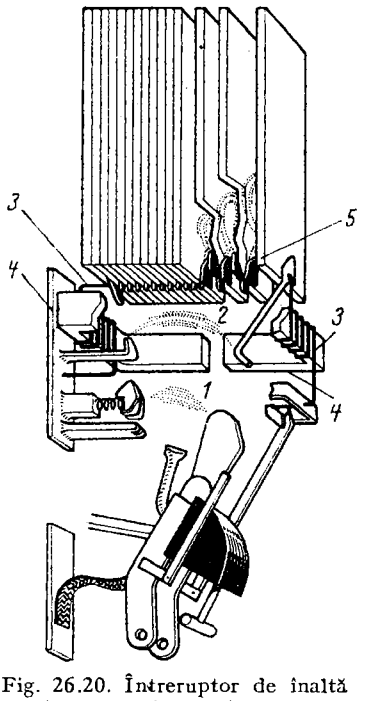


Fig. 26.20. Întreruptor de înaltă tensiune cu stingere în aer liber prin suflaj magnetic

ajunge la o lungime foarte mare în spațiul restrîns și, fiind puternic răcit de contactul cu pereții reci, se stinge în scurt timp.

4. ÎNTRERUPTOARE CU RUPERE ÎN VID ÎNAINTAT

● **Principiul de funcționare.** S-a arătat în capitolul care tratează fizica arcului electric că acesta este alcătuit dintr-un canal foarte îngust de gaze ionizate.

Pornindu-se de la această realitate, mulți cercetători au căutat să realizeze dispozitive de întrerupere a circuitelor electrice („camere de stingere") la care întreruperea (separarea contactelor) să se realizeze în vid înaintat. Raționamentul este următorul: *dacă vidul este foarte înaintat, purtătorii de sarcini electrice vor fi foarte puțini și condițiile de ionizare mult îngreunate, deci întreruperea arcului va fi practic instantanee.*

Raționamentul de mai sus este corect, dar a fost foarte dificil să se realizeze practic camere de stingere în care să se obțină:

— deplasarea după voie și cu viteze suficient de mari a contactului mobil, *acționîndu-se din afara camerei de stingere;*

— menținerea în aceste condiții, un timp suficient de lung, a vidului în camera de stingere.

În prezent s-au realizat astfel de camere de stingere, formate dintr-un burduf flexibil de oțel inoxidabil avînd la capete piese izolante ceramice în centrul cărora sînt fixate contactele de rupere (din wolfram de mare puritate, degazat în condiții deosebit de severe). Stabilirea și separarea contactelor se face acționînd din exterior asupra burdufului flexibil de oțel.

S-au obținut astfel camere de stingere pentru aparate de întrerupere de 6 și 15 kV (cursa contactelor mobile este de numai cîțiva milimetri), care se caracterizează prin:

— frecvență foarte mare de conectare (pînă la 1 200 conectări/oră);

— durata de serviciu electrică a contactelor, 1—2 milioane conectări, la un curent întrerupt de ordinul 2 400 A;

— durată de serviciu mecanică de ordinul a 5 milioane de manevre.

Sînt folosite ca aparate de întrerupere de curent alternativ (în curent continuu provoacă supratensiuni mari prin întreruperea prea brutală a circuitului), pentru comanda motoarelor electrice (3—6—10 kV), a transformatoarelor (2 000 ... 4 000 kVA), sau a bateriilor de condensatoare (2 000 ... ... 4 000 kVAR), acolo unde frecvența de conectare este foarte mare sau atmosfera este foarte impurificată (industria cimentului, a aluminiului, minieră, metalurgică, fabrici de cauciuc, de hîrtie etc.).

● **Avantajele** întreruptoarelor cu cameră de stingere în vid înaintat, sînt:
— eliminarea oricărui pericol de incendiu și explozie prin arcul electric;
— timpii de întrerupere foarte scurți și restabilirea extrem de rapidă a căii de comutație după întrerupere (frecvențe foarte mari de comutare);
— dimensiuni reduse;
— zgomot redus;
— durată mare de viață a contactelor;
— întreținere foarte redusă.

● **Dezavantajele** acestei soluții, în condițiile actuale, sînt:
— probleme diferite de realizare a camerei de stingere (materiale de contact, burduf elastic, etanșare și degazări dificile);
— nu este posibil să se cunoască ușor în exploatare gradul de deteriorare a vidului din cameră;
— nu se pot (încă) utiliza la tensiuni nominale mai mari;
— nu se pot folosi în rețele de curent continuu;
— pericol de supratensiuni în instalații puternic inductive;
— cost (încă) prea ridicat.

Se folosesc din ce în ce mai mult în rețelele de medie tensiune (3 ... 25 kV) îndeosebi în situații în care se cere o frecvență foarte mare de conectare:
— motoare electrice;
— baterii de condensatoare;
— cuptoare electrice;
— locomotive electrice etc.

ÎNTRERUPTOARE (SEPARATOARE) DE SARCINĂ

În prezent în instalațiile de înaltă tensiune se întîlnesc două tipuri de aparare de conectare, foarte diferențiate între ele, și anume: *separatoare* și *întreruptoare automate*.

● **Separatoarele** sînt lipsite practic de putere de rupere și au drept funcțiuni principale:
— protecția personalului de exploatare, prin realizarea unei întreruperi vizibile și cu distanță de izolare suficientă;
— efectuarea de manevre de comutare a circuitelor fără sarcini.

● **Întreruptoarele automate** au putere de rupere foarte mari. În instalație ele au următoarele funcțiuni:
— închiderea și deschiderea circuitelor în condiții de sarcină normală (stabilirea și întreruperea unor curenți inferiori curentului nominal);
— întreruperea automată și foarte rapidă a circuitului deservit îndată ce elementele de protecție ale acestuia sesizează o funcționare anormală, îndeosebi un scurtcircuit.

Ca urmare a acestei „specializări" a aparatelor de conectare de înaltă tensiune, unele practic lipsite de putere de rupere iar celelalte avînd puteri de rupere foarte mari, s-a ajuns la situația că, în domeniul puterilor de rupere mici, lipsesc aparate adecvate. Astfel, în anumite situații, puterile de rupere necesare sînt mici și nu este justificată economic folosirea unui aparat cu mare putere de rupere. În același timp, există consumatori de mică importanță (cu un curent de sarcină mic), legați la rețelele de înaltă tensiune foarte puternice

(cu un curent mare de scurtcircuit), ceea ce creează o disproporție între importanța consumatorului și costul foarte ridicat al întreruptorului de manevră și protecție al acestuia.

Nevoia de a se crea aparate de întrerupere ieftine, pentru acești consumatori de mică importanță, a condus la ideea de *a se separa cele două funcțiuni ale întreruptoarelor automate* (întreruperea curenților de serviciu și a curenților de scurtcircuit), așa cum se procedează uneori în joasă tensiune, unde se asociază contactoarele cu siguranțe fuzibile, primele îndeplinind funcția de conectare și deconectare sub curentul de serviciu, iar siguranțele asigurînd întreruperea curenților de scurtcircuit.

S-au creat, astfel, aparate de întrerupere de înaltă tensiune, dimensionate numai pentru a întrerupe curentul normal de sarcină; acolo unde pot apărea curenți de scurtcircuit importanți, se asociază aparatului siguranțe de înaltă tensiune, cu mare putere de rupere.

Pentru realizarea acestor întreruptoare cu putere de rupere mică s-a mers pe diferite căi:

— unii constructori au pornit de la separatoarele existente, cărora le-au adăugat dispozitive simple de stingere a arcului electric, obținîndu-se așa-numitele separatoare de sarcină (separatoare care au și rolul de a întrerupe curenții de sarcină). O astfel de soluție este indicată în figura 26.21;

— alți constructori au pornit de la întreruptoarele de mare putere existente la care au simplificat mult construcția. Un astfel de aparat este cel prezentat în figura 26.22;

— alți constructori au realizat întreruptoare de sarcină folosind soluții speciale pentru acest scop (fig. 26.23 și 26.24).

○○○ **Este necesar să se rețină** faptul că separatoarele de sarcină, chiar și cele asociate cu siguranțe cu mare putere de rupere, *nu sînt destinate să înlocuiască pretutindeni întreruptoarele, ci au numai rolul de a completa*

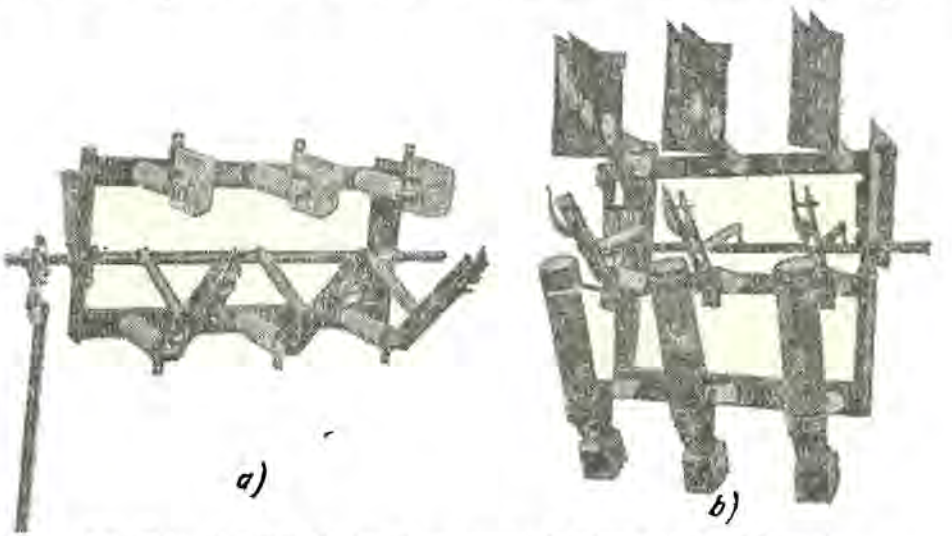


Fig. 26.21. Separator de sarcină cu cameră de stingere cu pereți înguști:
a — separator de sarcină pentru 20 kV — 200 A; *b* — separator de sarcină pentru 20 kV — 400 A, asociat cu siguranțe fuzibile.

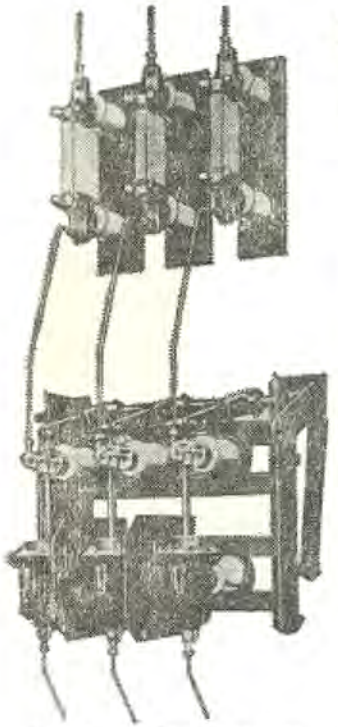


Fig. 26.22. Întreruptor de sarcină cu ulei puțin.

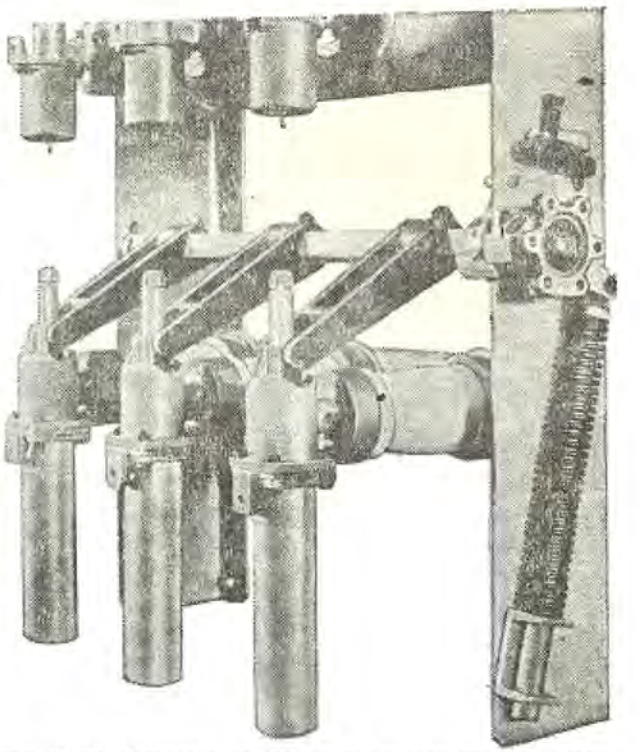


Fig. 26.23. Separator de sarcină cu autocompresie, pentru 15 kV — 400 A, tip cu piston sub tensiune.

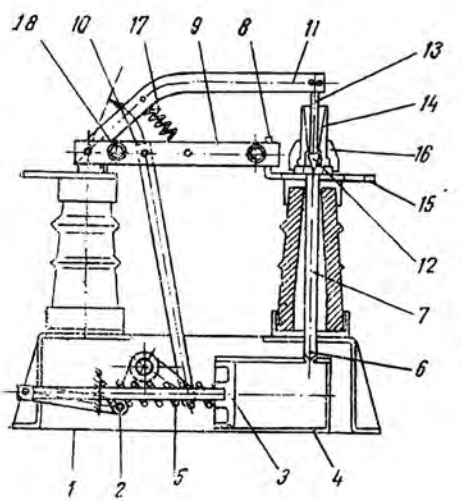


Fig. 26.24. Separator de sarcină cu autocompresie, de tip „cu izolator gol", pentru 10 kV — 400 A:

1 — cadru; *2* — mecanism de acționare a pistonului; *3* — piston; *4* — cilindru; *5* — arc pentru deschidere bruscă; *6* — supapă care se deschide după realizarea unei anumite presiuni în cameră; *7* — tub de suflaj; *8* — contact principal fix; *9* — contact principal mobil; *10* — tijă de acționare a mișcării contactului mobil; *11* — contact auxiliar mobil; *12* — guler de reținere a contactului de rupere; *13* — contact de rupere mobil; *14* — ajutaj (din material izolant); *15* — bornă de racord la linie; *16* — piesă de fixare a ajutajului (care datorită uzurii trebuie schimbat frecvent); *17* — arc de deschidere cu viteză mare a contactului mobil; *18* — distanțier pentru cele două cuțite care formează contactul principal mobil.

gama de aparate de conectare existente, oferind îndeosebi soluții mai economice pentru alimentarea consumatorilor mici.

Se deosebesc două categorii de utilizări, după cum separatorul de sarcină este sau nu asociat cu siguranțe fuzibile.

1. SEPARATOARE DE SARCINĂ FĂRĂ SIGURANȚE FUZIBILE

Utilizarea separatoarelor de sarcină fără siguranțe fuzibile este frecventă în situații ca:

— punerea și scoaterea de sub tensiune în gol sau sub sarcină redusă a transformatoarelor de putere mică, de 400—1 600 kVA (transformatoare din rețele industriale, la care sarcina este deconectată pe partea de joasă tensiune);

— operații normale de închidere și deschidere a buclelor în rețelele de cabluri;

— punerea și scoaterea de sub tensiune a bateriilor de condensatoare;

— conectarea și deconectarea bobinelor de stingere;

— folosirea cu rol de separator, acolo unde separatoarele de construcție normală nu fac față nici operațiilor de comutare a circuitelor în gol;

— punerea și scoaterea de sub tensiune a transformatoarelor mari, fără sarcini (întreruperea unor curenți de magnetizare importanți);

— conectarea și deconectarea liniilor aeriene lungi în gol (întreruperea curentului capacitiv de încărcare a liniei);

— folosirea ca „separator de siguranță mărită", înlocuind separatoarele din instalațiile de mare importanță (acolo unde trebuie să fie cu desăvîrșire evitate accidentele ce se pot produce ca urmare a unei manevre greșite de deschidere sub sarcină a separatoarelor);

— folosirea ca separator de cuplă, pentru a se realiza o întrerupere sigură.

2. SEPARATOARE DE SARCINĂ CU SIGURANȚE FUZIBILE

Utilizarea separatorului de sarcină asociat cu siguranțe fuzibile prezintă, în raport cu varianta obișnuită separator — întreruptor de putere, avantajul unui cost mai redus și al unui spațiu necesar mai mic, dar are și neajunsul că prin arderea fuzibilelor, se produce o întrerupere care durează pînă la înlocuirea siguranțelor arse.

De aceea, separatoarele de sarcină asociate cu siguranțe fuzibile se folosesc *numai pentru protecția consumatorilor de mai mică importanță și acolo unde scurtcircuitele sînt rare și se poate accepta întreruperea circuitului pentru timpul necesar înlocuirii siguranței.* Astfel de situații sînt în:

— stațiile de transformare de putere mică din rețelele de distribuție rurale sau urbane;

— instalațiile industriale de distribuție internă (în ateliere) la tensiune înaltă;

— ramificațiile pentru alimentarea serviciilor interne de mică importanță din centralele electrice.

J. CONTACTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Pentru acționarea pompelor, a ventilatoarelor mari, a compresoarelor, a morilor de ciment, a calandrelor de prelucrat cauciuc, a troliilor de extracție din mine, a convertizoarelor, precum și pentru alte utilizări din industrie se folosesc numeroase motoare electrice mari (asincrone sau sincrone). În scopul de a se reduce cheltuielile de instalare și exploatare a acestora, motoarele de puteri mai mari decît 200 ... 250 kW se construiesc în general ca „motoare de înaltă tensiune", adică avînd înfășurarea statorică astfel dimensionată, încît să poată fi conectată direct la o rețea de înaltă tensiune (se construiesc, în prezent, motoare electrice de înaltă tensiune pentru rețele de 1—6 kV).

Pe lîngă execuția mai simplă a motorului, această construcție prezintă și următoarele avantaje:

— se elimină transformatorul, cu toate aparatele sale de comandă și protecție de înaltă și joasă tensiune;

— se reduc mult costul cablurilor de alimentare;

— se reduce greutatea totală a instalației;

— exploatarea este mai economică, randamentul total și factorul de putere al instalației fiind mai bune.

Pentru pornirea și oprirea acestor motoare s-au folosit și se folosesc încă întreruptoare de 6 și 10 kV, dintre tipurile descrise în capitolele precedente.

Fiind prevăzute pentru punerea și scoaterea de sub tensiune a instalațiilor electrice (operații care se execută foarte rar) și pentru protecția acestor instalații împotriva curenților mari de scurtcircuit, întreruptoarele de înaltă tensiune de construcție normală (care se caracterizează prin putere mare de rupere) au dezavantajul unui *număr de manevre și frecvență de conectare foarte reduse*. În cazul unor manevre repetate, chiar la un curent sub valoarea celui nominal, se produce repede atît uzura mecanică a pieselor în mișcare, cît și uzura mediului sau a camerei de stingere (carbonizarea uleiului la întreruptoarele cu ulei puțin, vaporizarea apei la întreruptoare cu apă, uzura pereților gazogeni la întreruptoarele cu autoformare de gaze, metalizarea camerelor de stingere la întreruptoarele de mare putere în aer etc.).

Pentru comanda motoarelor electrice este necesară o putere de rupere redusă, dar o frecvență mare de conectare și o mare rezistență a aparatului la uzura mecanică și electrică.

De aceea, au fost create aparate destinate în mod special pentru comanda motoarelor electrice de înaltă tensiune.

Aceste aparate, care se aseamănă constructiv foarte mult cu contactoarele folosite tot pentru comanda motoarelor electrice, în rețele de joasă tensiune, sînt numite „contactoare de înaltă tensiune".

● **Principiul de funcționare** este identic cu cel al contactoarelor de joasă tensiune și constă în trimiterea arcului electric, cu ajutorul suflajului magnetic, într-o cameră de stingere, unde este mult întins, împărțit între grătare metalice și răcit puternic; întreruperea se realizează la trecerea naturală a curentului prin zero (aceasta fiind o condiție ca întreruperea să nu provoace supratensiuni).

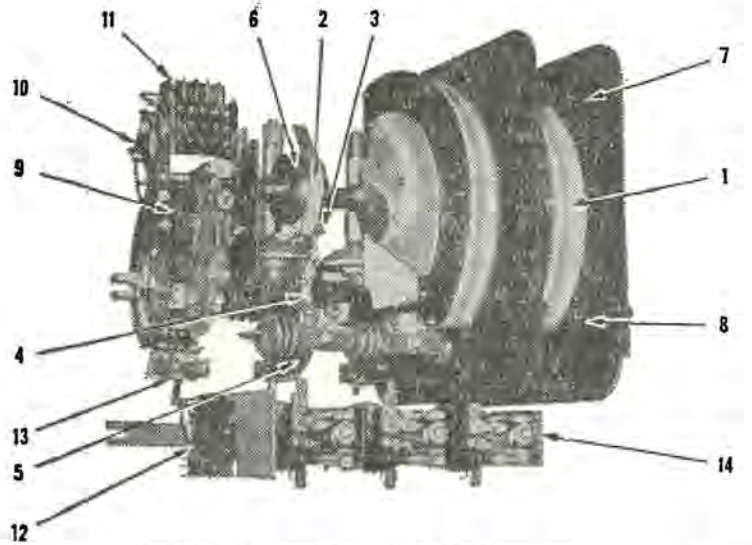


Fig. 26.25. Contactor de înaltă tensiune:

1 — cameră de stingere; *2* — contact fix; *3* — contact mobil; *4* — arcul contactului mobil; *5* — conductor flexibil (tresă); *6* — bobină de suflaj; *7* și *8* — pereți izolanți între polii contactului; *9* — bobina electromagnetului de acționare (electromagnet de curent continuu); *10* — rezistență adițională pentru limitarea curentului absorbit de bobină în poziția „închis"; *11* — contacte auxiliare; *12* — contact de blocare; *13* — redresor; *14* — relee termice și electromagnetice.

● **Elementele constructive** ale unui contactor de înaltă tensiune sînt reprezentate în figura 26.25, în care se poate distinge:

— *partea de înaltă tensiune*, formată din cei trei poli ai contactorului, cu bobine de suflaj, camere de stingere și pereți despărțitori din material izolant;

— *partea de joasă tensiune*, formată din: electromagnetul de acționare, redresorul de alimentare a acestuia, butoanele de comandă și contactele. de semnalizare;

— *partea de protecție*, formată din trei relee termice și electromagnetice

Contactoarele de înaltă tensiune au o putere de rupere redusă, putînd întrerupe numai curenții de sarcină ai motorului și, la nevoie (dar nu frecvent), curenții de pornire ai acestuia. De aceea, pentru protecția instalației împotriva scurtcircuitelor se prevăd siguranțe fuzibile de mare putere sau întrerupere de putere montate în serie cu contactorul.

Se construiesc pentru tensiunea nominală de 6 kV și curenți nominali cuprinși între 40 și 320 A.

ÎNTRERUPTOARE CU STINGERE ÎN HEXAFLUORURĂ DE SULF

Cercetările pentru obținerea de noi aparate cu mare putere de rupere au dus, în ultimii ani, la realizarea unor întreruptoare bazate pe un principiu nou de stingere a arcului electric, care pornește de la faptul că starea de ionizare (deci de conductivitate electrică) a coloanei de arc este favorizată și întreți-

nută de prezența unui mare număr de electroni liberi. Acest principiu de stingere urmărește să realizeze deionizarea coloanei de arc *prin captarea electronilor liberi și frînarea în acest mod, a proceselor de ionizare prin șoc.*

Se folosesc în acest scop, anumite gaze (numite „gaze electronegative"), ale căror molecule au proprietatea de a capta cu ușurință electronii liberi. S-au realizat întreruptoare care folosesc drept mediu de stingere a arcului electric hexafluorura de sulf (SF_6). Aceasta are următoarele proprietăți

— la temperatura și presiunea normală este un gaz incolor, fără miros, netoxic și incombustibil;

— este un gaz greu, avînd la 20°C și presiunea atmosferică normală o densitate de cinci ori mai mare ca aerul;

— la temperaturi care întîlnesc în zona centrală a arcului electric (3 000—7 000 K) gazul SF_6 se ionizează devenind un bun conducător de electricitate, astfel încît căderea de tensiune în arc și energia degajată în coloana de arc, sînt reduse;

— la temperaturi de ordinul 2 000 K, temperaturi care se întîlnesc în zona periferică a coloanei de arc, conductibilitatea electrică a acestui gaz scade brusc, crescînd în schimb conductibilitatea termică.

Ultimele două proprietăți favorizează o deionizare rapidă a coloanei de arc atunci cînd valoarea curentului de circuit se apropie de trecerea naturală prin zero;

— hexafluorura de sulf este, în stare gazoasă, un izolant electric foarte bun, realizînd, la presiunea atmosferică, o rigiditate dielectrică de trei ori mai mare ca cea a aerului și apropiată de cea a uleiului de transformator. La creșterea presiunii, această rigiditate dielectrică crește mai repede decît la aerul comprimat.

Aceste proprietăți determină folosirea pe scară din ce în ce mai mare a hexafluorurii de sulf ca mediu de stingere și cu izolant în instalații de foarte înaltă tensiune, utilizările cele mai reprezentative fiind la întreruptoare de foarte înaltă tensiune și la stațiile de interconectare blindate.

În ceea ce privește întreruptoarele, cu hexafluorură de sulf, se întîlnesc în prezent două soluții constructive de bază, și anume:

- *întreruptoarele funcționînd pe principiul a două presiuni;*
- *întreruptoare cu o singură presiune.*

Toate întreruptoarele cu SF_6 se caracterizează prin construcția complet capsulată, astfel încît, în timpul funcționării, nu are loc vreun schimb de gaze cu exteriorul.

1. ÎNTRERUPTOARE CU HEXAFLUORURĂ DE SULF CU DOUĂ PRESIUNI

Întreruptoarele funcționînd pe acest principiu, sînt formate dintr-un recipient închis ermetic și compartimentat în două zone (fig. 26.26, *a*);

— o zonă de presiune joasă (circa 3 atmosfere), care cuprinde majoritatea spațiului din recipient;

— o zonă de presiune înaltă (14—16 atmosfere) constituind un rezervor de gaze sub presiune.

În momentul deschiderii întreruptorului, se deschide și un ventil care permite gazului sub presiune să pătrundă în zona de joasă presiune, cu care ocazie jetul de gaze spală zona de formare a arcului electric determinînd stingerea acestuia. Izolația între contactele deschise ale întreruptorului (distanța

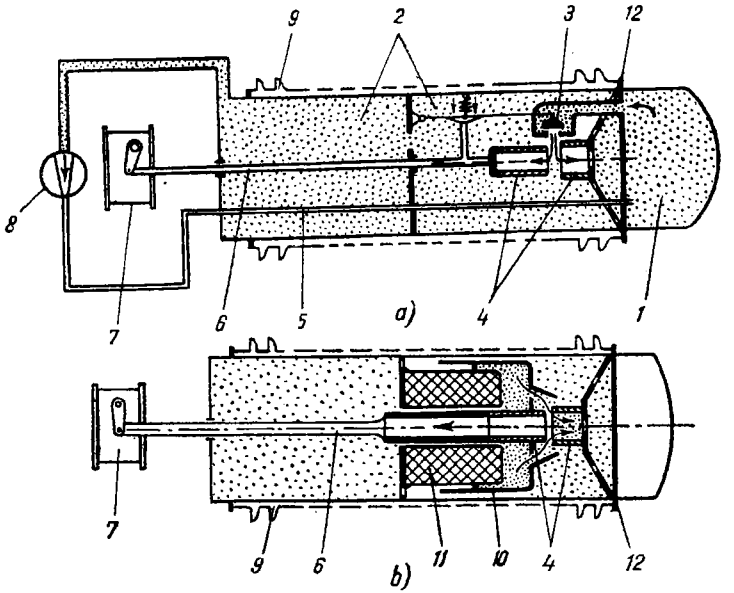


Fig. 26.26. Întreruptoare de stingere în hexafluorură de sulf — principiu de funcționare:

a — funcționare pe principiul „două presiuni"; *b* — funcționare pe principiul „autocompresie".
1 — rezervor cu gaz la presiunea înaltă; *2* — compartiment la presiune joasă; *3* — ventil de suflaj; *4* — contactele întreruptorului; *5* — conductă de gaze sub presiune; *6* — tijă de acționare a contactului mobil; *7* — mecanism de acționare; *8* — motocompresor; *9* — carcasă izolantă; *10* — cilindru de suflaj (mobil); *11* — piston de suflaj (fix); *12* — disc izolant de susținere și etanșare.

dintre acestea cca. 5 cm), precum și izolația față de masă a pieselor aflate sub tensiune, sînt asigurate de hexafluorura de sulf aflată la presiunea joasă.

Îndată ce presiunea gazului din compartimentul de joasă presiune a atins o anumită valoare, un compresor trimite gazele înapoi în rezervorul de înaltă presiune.

Construcția unui întreruptor cu SF_6, funcționînd pe principiul a „două presiuni" este reprezentată în figura 26.27, care reproduce o secțiune printr-o fază a unui întreruptor de 110 kV (cu două întreruperi pe fază) de construcție mai veche.

Specifice acestei soluții sînt următoarele aspecte:

— camerele de stingere sînt introduse într-un recipient metalic orizontal prevăzut cu două izolatoare de trecere. Izolația pieselor sub tensiune din interiorul recipientului, față de pereții puși la pămînt ai acestuia, se realizează prin umplerea recipientului cu hexafluorură de sulf, la presiunea de două atmosfere;

— în interiorul recipientului, în imediata vecinătate a camerei de stingere se află un rezervor cu hexafuorură de sulf la presiunea de 4 at;

— în momentul separării contactelor, gazul sub presiune este trimis din acest rezervor prin camerele de stingere în recipientul mare;

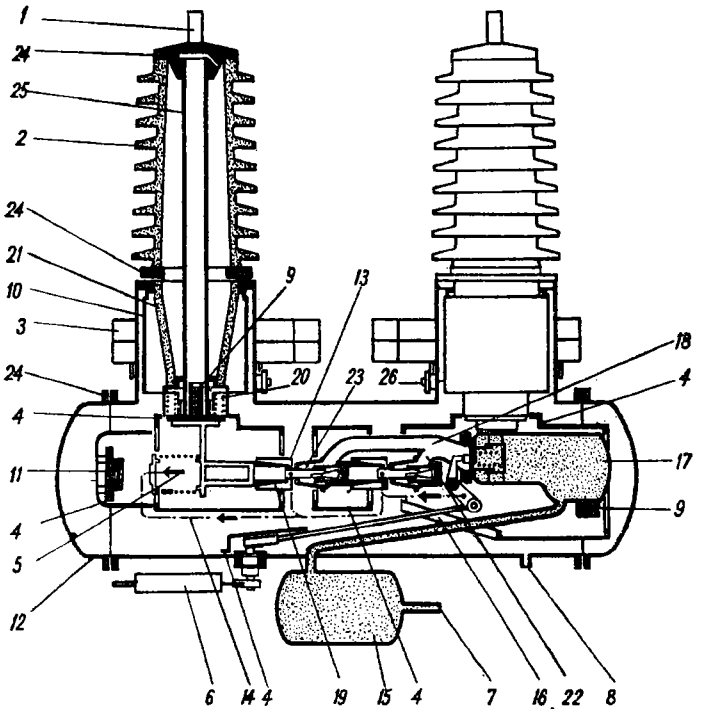


Fig. 26.27. Secțiune prin polul unui întreruptor de 110 kV cu stingere în hexafluorură de sulf:

1 — borne de legătură la linie; *2* și *21* — izolator de trecere din porțelan; *3* — transformator de curent; *4* — ecrane electrostatice pentru uniformizarea repartiției potențialelor în interiorul recipientului; *5* — arc de declanșare; *6* — cilindru cu pistonul de comandă a deschiderii; *7* — conductă de presiune prin care este trimisă hexafluorura de către compresor la presiunea de 14 at.; *8* — orificiu de evacuare; *9* — filtre cu alumină activată, pentru absorbirea gazelor nocive; *10* — divizor de tensiune capacitiv; *11* — amortizor al deplasării contactelor mobile la deschidere; *12* — uși de acces în interiorul întreruptorului; *13* și *19* — ecrane de teflon; *14* și *16* — tije de acționare a contactelor mobile; *15* și *17* — rezervoare cu gaz comprimat; *18* și *22* — conductă prin care gazul comprimat este trimis, în momentul deschiderii întreruptorului, la camerele de stingere; *20* — arc pentru fixarea elastică a trecerii; *23* — cameră de stingere; *24* — garnituri de etanșare; *25* — bornă tubulară de trecere; *26* — bornele de joasă tensiune ale divizorului de tensiune capacitiv.

— hexafluorura de sulf parcurge în mod repetat un circuit închis: în timpul întreruperii, expandează din rezervorul sub presiune *17* în recipientul întreruptorului, de unde o pompă (nereprezentată în figură) îl reintroduce din conducta *7* înapoi în rezervorul de gaz sub presiune;

— pentru a reduce efectele corosive și toxice ale produselor de disociere a hexafluorurei de sulf sub efectul temperaturii arcului electric, în întreruptor sînt prevăzute filtre absorbante cu alumină, iar diferitele organe ale întreruptorului sînt protejate cu teflon * (material izolant rezistent chimic la acțiunea fluorului și a compușilor acestuia).

---

* teflon = tetrafluoretilen = material plastic cu foarte bune proprietăți termice și dielectrice și care, avînd în componența sa fluor, nu mai este atacată chimic de fluor sau de compuși ai acestuia.

2. ÎNTRERUPTOARE CU HEXAFLUORURĂ DE SULF CU O SINGURĂ PRESIUNE (CU AUTOSUFLAJ)

Principiul de funcționare al acestor întreruptoare este reprezentat în figura 26.26, *b*.

La aceste întreruptoare, în întreg recipientul în care se găsește întreruptorul se află hexafluorura de sulf la presiunea de 3—4 atmosfere.

Solidar cu contactul mobil este însă fixat un „cilindru de suflaj" (fig. 26.26,*b*) astfel încît, în momentul în care contactele încep să se deschidă, deplasarea cilindrului de suflaj în raport cu un piston fix, creează un jet de gaze sub presiune, jet care spală zona de formare a arcului electric și determină stingerea acestuia.

Întreruptoarele care funcționează pe baza acestui principiu („autocompresie") sînt mult mai simple constructiv decît cele funcționînd pe principiul a două presiuni, dar au o putere de rupere mai mică și necesită la acționare o energie mai mare.

3. AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE ÎNTRERUPTOARELOR CU HEXAFLUORURĂ DE SULF

● Principalele **avantaje** ale întreruptoarelor cu stingere în hexafluorură de sulf, sînt:

— putere mare de rupere fără a acționa brutal asupra arcului electric;

— supratensiuni de întrerupere mici chiar în situații de comutare dificile, cum apar la întreruperea curenților mici inductivi și capacitivi;

— funcționare în spațiu complet închis, fiind inclusă expulzarea de gaze sau lichide în timpul întreruperii;

— zgomot de funcționare foarte redus;

— spațiu necesar relativ mic;

— montaj posibil în orice poziție.

● **Dezavantajele** principale sînt legate de:

— costul încă ridicat al gazului SF_6;

— faptul că la presiuni peste 14 atmosfere și temperaturi sub +5°C hexafluorura de sulf tinde să se condenseze, ceea ce implică folosirea unor dispozitive de încălzire la întreruptoarele cu două presiuni;

— faptul că, sub efectul arcului electric, o parte din gazul SF_6 se disociază în componente foarte corosive, care atacă metalele, ceea ce impune folosirea unor elemente de protecție din teflon, care este de asemenea un produs scump și relativ greu de prelucrat.

Aceste elemente fac ca întreruptoare de hexafluorură de sulf să se impună în primul rînd în domeniul tensiunilor și puterilor de rupere foarte mari.

Se construiesc în prezent astfel de întreruptoare pentru tensiuni nominale de 110 ... 525 kV, curenți nominali de 1 250—4 000 A și puteri de rupere de 30—50 gigavolt-amperi.

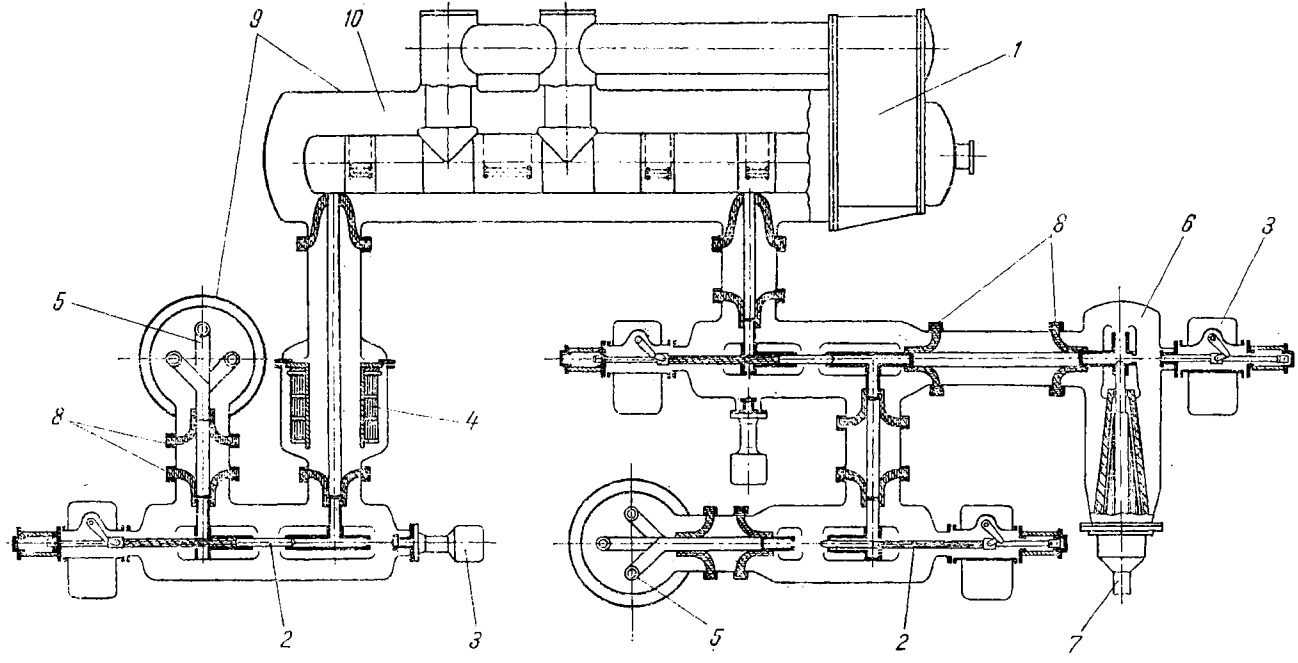


Fig. 26.28. Stație de interconexiune capsulată în hexafluorură de sulf:

1 — întreruptor; *2* — separator; *3* — separatoare de punere la pământ; *4* — transformator de curent; *5* — bare colectoare; *6* — cutie de racord la cablu; *7* — cablu de forță; *8* — discuri izolante din rășini epoxidice; *9* — anvelopă metalică; *10* — hexafluorură de sulf.

4. STAȚII DE INTERCONEXIUNE CAPSULATE CU IZOLAȚIE ÎN HEXAFLUORURĂ DE SULF

Un domeniu nou de utilizare specific întreruptoarelor cu hexafluorură de sulf îl constituie stațiile de comandă capsulate de 110 și 220 kV. Acestea se bazează pe proprietatea hexafluorurii de sulf de a fi în același timp un bun izolant și un bun mediu de stingere a arcului electric. Ele constau în realizarea unor celule de distribuție de foarte înaltă tensiune, avînd întreg echipamentul (de construcție specială) închis în recipienți umpluți cu hexafluorură de sulf (fig. 26.28 și 26.29).

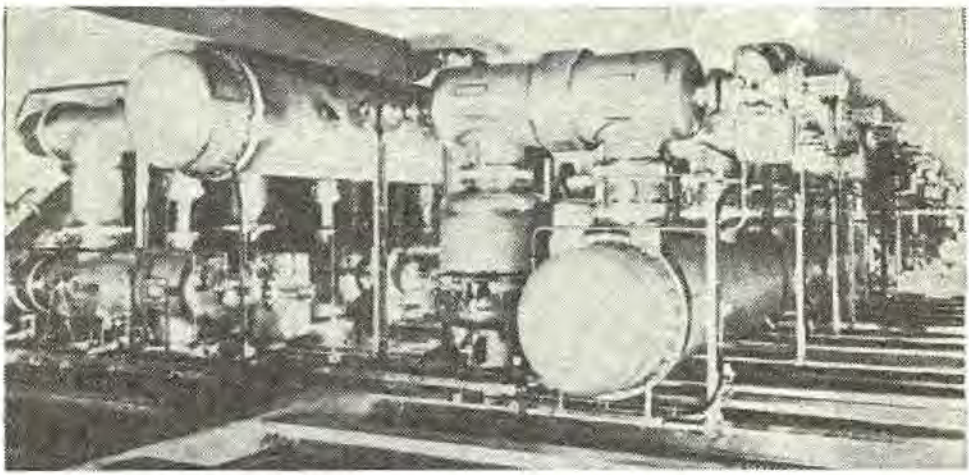


Fig. 26.29. Vedere a instalației reprezentate în figura 26.28.

Principalele avantaje ale acestor stații sînt următoarele:

— posibilitatea de a concentra o putere de rupere mare într-un spațiu foarte redus (suprafața necesară este 1/20 din cea a unei stații clasice);

— insensibilitatea completă la condiții de poluare atmosferică sau la mediu chimic agresiv;

— zgomot foarte mic în funcționare;

— eliminarea pericolelor de scurtcircuit prin contact accidental.

Aceste avantaje permit introducerea unor stații puternice de conexiune în centrele urbane sau în centrul unor aglomerări industriale (montaj în stații vechi, în clădiri sau în subsoluri), obținîndu-se totodată o siguranță de funcționare mult mai mare.

Capitolul 27

SIGURANȚE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

● A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE ● B. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

În instalațiile de înaltă tensiune se folosesc siguranțe fuzibile *numai ca aparate de protecție împotriva scurtcircuitelor* (nu și pentru protecția împotriva suprasarcinilor), domeniile lor principale de urilizare fiind următoarele:

— protecția transformatoarelor de putere pînă la 1 000 kVA;

— protecția motoarelor de înaltă tensiune, în asociație cu contactoare de înaltă tensiune care preiau și funcțiunea de protecția împotriva suprasarcinilor;

— protecția bateriilor de condensatoare folosite pentru îmbunătățirea factorului de putere al unei instalații;

— protecția ramificațiilor de putere instalată mică (electrificări rurale etc.), unde se admite întreruperea furnizării de energie în timpul necesar schimbării fuzibilului ars;

— protecția întreruptoarelor vechi, a căror putere de rupere a fost depășită prin creșterea puterii de scurtcircuit a instalației;

— în asociație cu separatoare de sarcină, care sînt aparate de manevră fără putere de rupere la scurtcircuit.

A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Din punctul de vedere al principiului de întrerupere și al mediului de stingere, se deosebesc două tipuri de siguranțe fuzibile de înaltă tensiune: *siguranțe fuzibile care realizează întreruperea la trecerea prin zero a curentului alternativ și siguranțe fuzibile limitatoare de curent.*

● **Siguranțe fuzibile care realizează întreruperea la trecerea prin zero a curentului alternativ.** La aceste siguranțe, întreruperea curentului de scurtcircuit se realizează după cîteva semiperioade, astfel încît siguranța limitează numai durata, dar nu și valoarea curenților de scurtcircuit din instalație. Se încadrează aici următoarele siguranțe fuzibile de înaltă tensiune: siguranțele tubulare deschise; siguranțele fuzibile cu autoformare de gaze; siguranțele cu întrerupere în lichide.

● **Siguranțe fuzibile limitatoare de curent.** Așa cum s-a arătat în capitolul 7, curenții de scurtcircuit ating valoarea lor maximă în prima semiperioadă,

această valoare descrescînd apoi. Cea mai mare parte a aparatelor de protecție împotriva scurtcircuitelor realizează, însă, întreruperea după cîteva semiperioade; ele limitează, deci, numai durata (efectele termice) nu și valoarea amplitudinii (efectele electrodinamice) curenților de scurtcircuit. Siguranțele fuzibile de mare putere (cu întrerupere în nisip) realizează, însă, întreruperea curenților de scurtcircuit în mai puțin de o semiperioadă, astfel încît valoarea atinsă efectiv de curentul de scurtcircuit este mult mai mică decît valoarea de vîrf pe care acesta ar fi atins-o în lipsa fuzibilului.

B. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

În cele ce urmează se va studia principiul de funcționare, performanțele realizate și domeniile de utilizare ale principalelor tipuri constructive de siguranțe fuzibile de înaltă tensiune.

1. SIGURANȚE TUBULARE DESCHISE

● **Construcția.** Firul fuzibil, din argint sau cupru, este întins între două contacte, în interiorul unui tub de porțelan deschis la ambele capete, ceea ce asigură: menținerea arcului electric în interiorul tubului (pentru evitarea scurtcircuitelor prin extinderea arcului rezultat la topirea fuzibilului); înlocuirea ușoară a firului ars; îmbunătățirea condițiilor de stingere prin efectul de suflaj al aerului încălzit în tub (fig. 27.1).

● **Avantaje.** Aceste siguranțe, de construcție foarte simplă, au următoarele avantaje: cost, redus, întreținere ușoară și posibilitatea schimbării fuzibilului de către personalul de exploatare.

● **Dezavantaje.** Ele au însă o putere de rupere foarte redusă (de ordinul a 10 MVA) și o împrăștiere mare a zonei de funcționare. Durata arcului electric este relativ mare (uneori peste zece semiperioade), ceea ce le face inutilizabile în rețele cu protecție rapidă. Nu au efecte de limitare a curentului de scurtcircuit.

● **Caracteristici tehnice.** Se construiesc pentru tensiuni nominale cuprinse între 1 și 20 kV (mai frecvent 1—6 kV) și curenți nominali cuprinși în domeniul 1—30—100 A.

Se folosesc numai în instalații de exterior, unde formarea arcului electric în aer liber prezintă mai puține pericole.

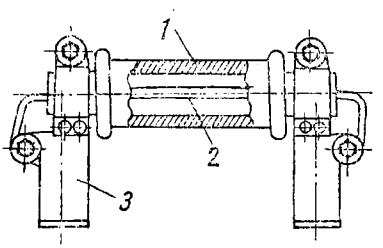


Fig. 27.1. Siguranță tubulară deschisă pentru instalații de înaltă tensiune: *1* — tub de porțelan; *2* — fir fuzibil; *3* — cuțit de contact.

2. SIGURANȚE CU STINGERE PRIN AUTOFORMAREA DE GAZE (SIGURANȚE CU EXPULSIE)

● **Construcția.** Sînt formate dintr-un tub de material izolant organic, cu diametrul interior relativ îngust (8—10 mm) și prevăzut la capete cu piese de contact, între care este întins, prin interiorul tubului, firul fuzibil. Acesta poate fi întins pe toată lungimea tubului, ca în figura 27.2, sau se folo-

seşte un fir fuzibil scurt, întins de un arc metalic similar cu cel folosit la siguranţele cu stingere în lichid (v. fig. 27.3).

● **Modul de funcţionare** este asemănător cu cel al descărcătoarelor tubulare: în momentul topirii fuzibilului, la temperatura arcului electric care se formează, o parte a peretelui tubului (fibră, ebonită, sticlă organică) se descompune cu degajare puternică de gaze. Evacuarea violentă a gazelor prin capătul deschis al tubului produce stingerea arcului electric.

● Aceste siguranţe prezintă următoarele **avantaje**:

— construcţia simplă şi preţul relativ redus;

— posibilitatea înlocuirii firului ars de către personalul de exploatare;

— se pot construi pentru tensiuni nominale pînă la 133 kV, ceea ce nu realizează decît puţine tipuri de siguranţe.

● Principalele **dezavantaje** pe care le prezintă sînt următoarele:

— nu limitează valoarea curenţilor de scurtcircuit, durata arcului electric fiind de cîteva semiperioade;

— prezintă numai un anumit domeniu de funcţionare corectă în ceea ce priveşte valoarea curenţilor de scurtcircuit; sub limita inferioară prevăzută, cantitatea de gaze degajată este prea mică şi durata arcului depăşeşte limitele permise (8—10 semiperioade), iar la curenţi de scurtcircuit peste limita superioară prevăzută, cantitatea de gaze degajată este prea mare şi tubul poate exploda;

— caracteristica de topire prezintă o împrăştiere relativ mare;

— prin funcţionări repetate, diametrul interior al tubului se măreşte, ceea ce deplasează zona de funcţionare către curenţi de scurtcircuit mai mari;

— în timpul iernii sau pe umiditate foarte mare, suprafaţa tubului izolant îşi poate pierde proprietăţile izolante (pe care trebuie să le asigure după arderea firului);

— necesită supraveghere şi întreţinere îndeosebi în ceea ce priveşte starea şi uzura tubului.

● **Caracteristici tehnice.** Siguranţele de înaltă tensiune cu autoformare de gaze se construiesc pentru tensiuni între 20 şi 133 kV, fiind mai puţin folosite în Europa. Se folosesc numai în instalaţii de exterior.

3. SIGURANŢE DE ÎNALTĂ TENSIUNE CU ÎNTRERUPERE ÎN LICHIDE IZOLANTE

● **Construcţia.** Sînt formate dintr-un tub rezistent de sticlă, umplut cu un lichid izolant (ulei de transformator), în interiorul căruia firul fuzibil (scurt) ţine întins un resort elicoidal (fig. 27.3).

● **Modul de funcţionare.** La depăşirea intensităţii permise, firul fuzibil se topeşte, amorsînd un arc electric; în acelaşi timp, topirea firului fuzibil eliberează resortul elicoidal, care se strînge repede, lungind mult arcul electric şi uşurînd astfel stingerea acestuia.

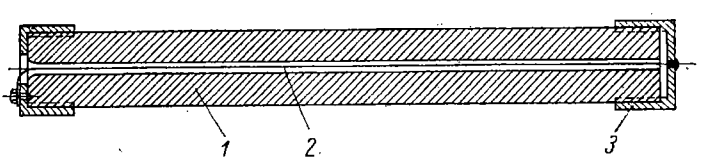


Fig. 27.2. Siguranţă fuzibilă cu stingere prin autoformare de gaze: *1* — tub din material izolant generator de gaze; *2* — fir fuzibil; *3* — piese de contact.

Stingerea arcului electric avînd loc în mod similar ca la întreruptoarele cu ulei puțin, aceste siguranțe se mai numesc *siguranțe-întreruptor*. Ele nu limitează valoarea curentului de scurtcircuit.

● **Caracteristici tehnice.** Sînt folosite ca siguranțe fuzibile de interior și exterior în instalații în medie și înaltă tensiune (6—150 kV), acolo unde mediul ambiant conține mult praf sau vapori corosivi. Construcția lor fiind relativ complicată, dimensiunile mari și performanțele modeste, siguranțele cu stingere în lichid sînt puțin răspîndite.

4. SIGURANȚE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE CU MARE PUTERE DE RUPERE (CU STINGERE ÎN NISIP)

● **Construcția.** Siguranțele de înaltă tensiune cu stingere în nisip (fig. 27.4) sînt formate dintr-un tub de porțelan, în interiorul căruia sînt introduse firele fuzibile, de obicei spiralizate pe un suport din ceramică refractară, avînd secțiunea ca o stea cu colțuri ascuțite (fig. 27.5).

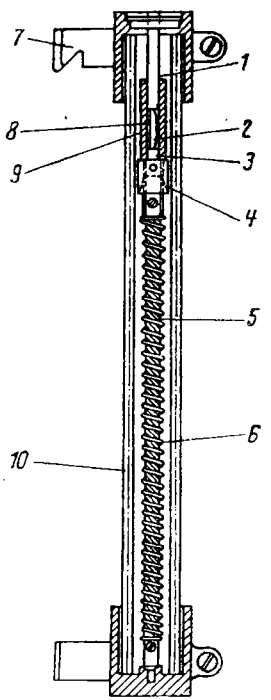


Fig. 27.3. Siguranță de înaltă tensiune cu stingere în lichid izolant:

1 — contact cu arc superior; *2* — fir fuzibil; *3* — contact de arc inferior; *4* — piston pentru dirijarea lichidului; *5* — cablu flexibil de cupru; *6* — resort de oțel; *7* — cuțit de contact; *8* — fir de întindere; *9* — barieră de arc; *10* — tub de sticlă umplut cu lichid de stingere.

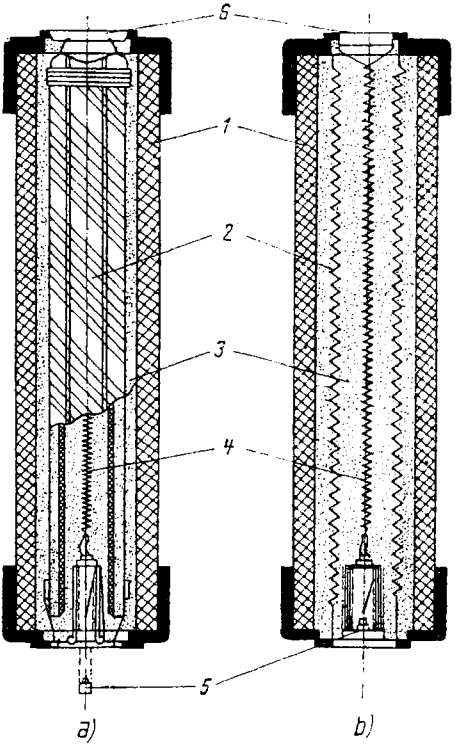


Fig. 27.4. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune cu mare putere de rupere:

a — fuzibil pe miez ceramic; *b* — fuzibil liber în nisip. *1* — tub izolator; *2* — fir fuzibil; *3* — nisip de cuarț; *4* — sîrmă indicatoare; *5* — indicator; *6* — capac.

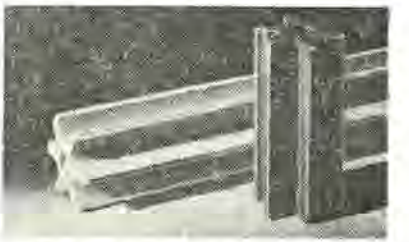


Fig. 27.5. Tuburi ceramice profilate, folosite ca suport al firului fuzibil la siguranțele de medie tensiune cu mare putere de rupere.

Spațiul interior dintre tijă și tub este umplut cu nisip foarte fin, bine uscat, după care tubul este închis ermetic cu capace de alamă, care servesc și drept piese de contact.

Modul de montare și elementele componente ale unei siguranțe în înaltă tensiune cu stingere în nisip sînt arătate în figura 27.6.

● **Modul de funcționare** al siguranțelor cu stingere în nisip este fundamental deosebit de cel al siguranțelor descrise mai înainte, deoarece nisipul care înconjură firul fuzibil determină, după topirea acestuia, o răcire foarte energică a coloanei de arc și stingerea arcului electric chiar înainte de trecerea naturală a curentului prin zero.

Pentru curenți de scurtcircuit foarte mari, se ajunge chiar ca întreruperea să aibă loc în mai puțin de 1/4 perioadă, deci înainte ca ei să fi atins valoarea maximă posibilă.

În felul acesta se obține:

— *reducerea duratei curentului de scurtcircuit* pînă la fracțiuni de semiperioadă, ceea ce reduce mult solicitarea termică a întregului circuit afectat de defect;

— *reducerea valorii de vîrf a curentului de scurtcircuit* (efect de limitare) la o fracțiune din valoarea pe care ar fi atins-o în lipsa siguranței, ceea ce reduce considerabil solicitările dinamice la care este supusă instalația;

— *mărirea importantă a puterii de rupere.*

Aceste calități au făcut ca siguranțele cu stingere în nisip să fie mai frecvent numite *„siguranțe cu mare putere de rupere"*, noțiune care are în ve-

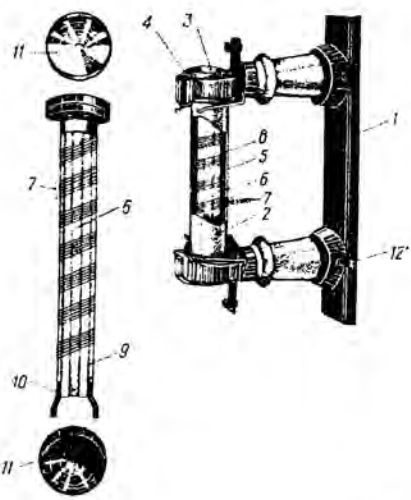


Fig. 27.6. Siguranță fuzibilă de înaltă tensiune cu stingere în nisip;

1 — soclu de tablă îndoită; *2* — patron fuzibil; *3* — furcă de contact; *4* — clemă de asigurare împotriva deschiderii prin forțe electrodinamice; *5* — tub de porțelan; *6* — suport ceramic al firului fuzibil; *7* — fire fuzibile; *8* — nisip de stingere; *9* — canale în lungul suportului; *10* — piesă arcuitoare de contact; *11* — capace de închidere; *12* — șurub de legare la pămînt.

dere atît puterea de rupere considerată în sine, cît și efectul de limitare a curenților de scurtcircuit. Puterea mare de rupere și întreruperea foarte rapidă a curenților de scurtcircuit au însă și dezavantajul de a provoca concomitent supratensiuni importante, dacă nu se iau măsuri speciale la proiectare (alegerea formei fuzibilului și a granulației nisipului).

În cazul funcționării la exterior, închiderea ermetică a tubului pentru a se evita pătrunderea umidității în nisip pune de asemenea probleme dificile.

● **Caracteristici tehnice.** Siguranțele fuzibile cu stingere în nisip se realizează numai pentru tensiuni medii (6 ... 35 kV) și curenți nominali cuprinși între 2 și 100 A, la 10 kV și 2 ... 40 A, la 25 kV (pentru circuite avînd curenți de serviciu care depășesc aceste valori, se pot folosi mai multe patroane în paralel).

Puterile de rupere realizate sînt de ordinul a 800 ... 1 200 MVA la patroanele pentru curenți nominali mici (2 ... 4 A) și de 200 ... 600 MVA la patroanele pentru curenți nominali mai mari.

Se folosesc *atît pentru instalații de interior, cît și pentru exterior*, construcțiile fiind însă diferite în ceea ce privește măsurile luate pentru realizarea închiderii etanșe.

Pentru ușurarea exploatării, multe tipuri de siguranțe de înaltă tensiune sînt prevăzute cu indicatoare de funcționare (de obicei, o tijă colorată care apare la unul dintre capete în cazul arderii fuzibilului).

Capitolul 28

APARATE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA SUPRATENSIUNILOR

● A. SUPRATENSIUNI ● B. ECLATOARE ● C. DESCĂRCĂTOARE

A. SUPRATENSIUNI

Izolația instalațiilor electrice și a diferitelor mașini și aparate racordate la acestea este dimensionată astfel încît să poată suporta un timp oricît de lung (practic 15—20 de ani) o tensiune cu 10 ... 20% mai mare decît tensiunea nominală.

Această valoare a tensiunii de serviciu maxime admise la bornele aparatelor este denumită *tensiunea maximă pentru echipament* U_{Me}. Valoarea sa fiind precizată în standarde (STAS 930-75 și tabela 3.1).

În funcționarea instalațiilor electrice, în anumite cazuri, pentru un scurt timp, valoarea reală a tensiunii față de pămînt și între conductoare depășește valoarea tensiunii de serviciu maxime admise pentru echipamente.

Se numește **supratensiune** *orice solicitare de tensiune care apare în instalație, depășind, un timp oricît de scurt, valoarea tensiunii de serviciu maxime admisă pentru echipamente* [U_{Me}].

Supratensiunile sînt periculoase deoarece pot provoca străpungerea sau conturnarea izolației, determinînd întreruperi de serviciu, deteriorări grave în instalație și chiar distrugerea unor utilaje scumpe, cum sînt îndeosebi transformatoarele de putere.

Rezistența izolațiilor față de solicitările la supratensiune este mult influențată de:

— mărimea tensiunii aplicate;
— durata de aplicare a tensiunii;
— forma tensiunii aplicate.

Acestea reprezintă cele mai importante mărimi prin care sînt caracterizate diferitele categorii de supratensiuni.

1. CATEGORII DE SUPRATENSIUNI

Cele mai importante supratensiuni sînt:

- *supratensiunile de origine atmosferică*;
- *supratensiunile de comutație*;
- *supratensiunile de punere la pămînt*.

Supratensiunile de comutație și cele de punere la pămînt se numesc și *„supratensiuni de origine internă"*, deoarece se produc ca urmare a unor modificări de situație în instalația electrică.

● **Supratensiunile de origine atmosferică** apar numai pe linii aeriene și cu totul excepțional în rețelele de cablu, ca urmare a loviturilor de trăsnet directe sau în vecinătatea liniei, și se caracterizează prin durate extrem de mici (cîteva zeci de microsecunde), dar amplitudini foarte mari (pînă la cîteva milioane de volți), forma lor fiind cea a unui impuls de tensiune (fig. 28.1, *c*), de obicei de polaritate negativă. Valoarea supratensiunii nu depinde de tensiunea nominală și de caracteristicile rețelei.

● **Supratensiunile de comutație** (fig. 28.1, *b*) sînt oscilații puternic amortizate, cu frecvența de 700 ... 1 000 Hz, care apar la schimbările bruște de situație ale unui circuit electric, de exemplu la întreruperea unui circuit cu un întreruptor rapid sau cu o siguranță cu mare putere de rupere.

Amplitudinea supratensiunilor de comutație este de 2,8 ... 3 ori mai mare decît valoarea de vîrf a tensiunii de serviciu pe fază, iar durata lor — de cîteva milisecunde.

Protecția împotriva acestor supratensiuni se realizează îndeosebi prin dimensionarea izolației și construindu-se aparate de întrerupere (întreruptoare de mare putere, siguranțe fuzibile) astfel încît să nu producă supratensiuni mari.

● **Supratensiunile de punere la pămînt** sînt creșteri ale tensiunii de frecvență industrială (fig. 28.1, *a*), a căror amplitudine este de 1,2 ... 1,73 ori

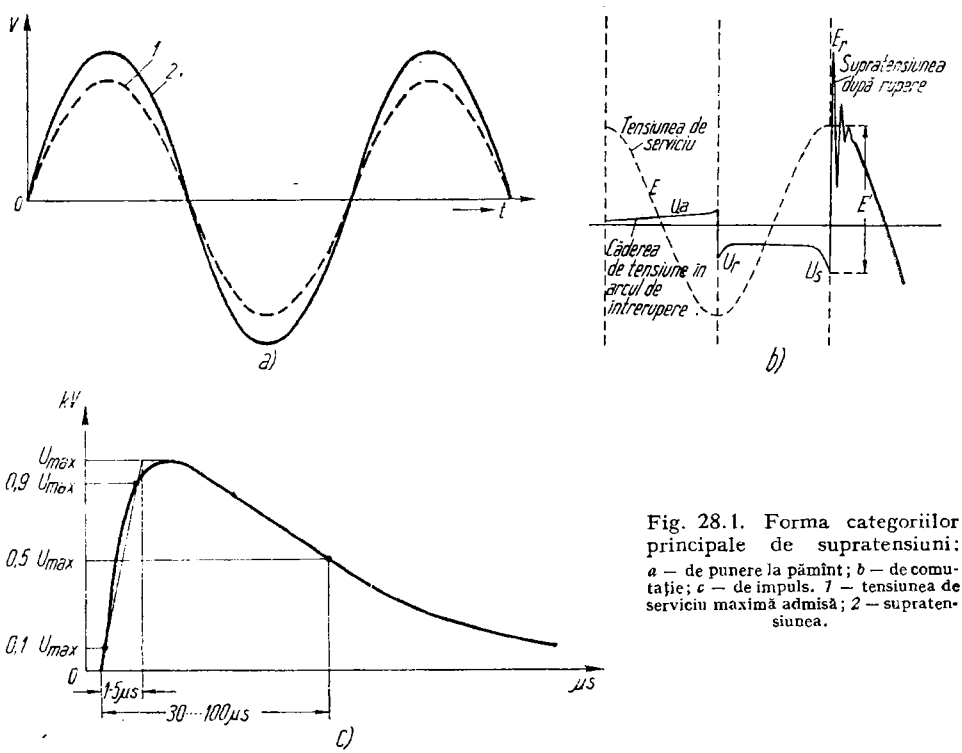


Fig. 28.1. Forma categoriilor principale de supratensiuni: *a* — de punere la pămînt; *b* — de comutație; *c* — de impuls. *1* — tensiunea de serviciu maximă admisă; *2* — supratensiunea.

mai mare decît amplitudinea tensiunii de serviciu și a căror durată este de fracțiuni de secundă în rețelele cu neutrul pus direct în pămînt, putînd atinge cîteva ore în rețelele cu neutrul izolat. Amplitudinea lor este deci mică, dar durata relativ mare.

Așa cum le arată și denumirea, ele apar în momentul punerii accidentale la pămînt (prin ruperea unui conductor sau printr-un defect de izolație) a unui conductor, într-un sistem trifazat cu neutru izolat sau pus la pămînt prin bobină de stingere. În această situație, tensiunea față de pămînt a fazelor sănătoase poate crește pînă la valoarea tensiunii între faze.

Protecția împotriva acestor supratensiuni se realizează prin dimensionarea izolației pentru valorile tensiunilor de încercare impuse prin norme și standarde (aparatele de protecție contra supratensiunilor nu sînt, în general, eficace pentru aceste supratensiuni).

2. METODE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA SUPRATENSIUNILOR

Pentru a proteja instalațiile electrice împotriva supratensiunilor, mai frecvent se folosesc următoarele metode:

- *adoptarea unor măsuri preventive de protecție;*
- *folosirea capacităților de protecție;*
- *folosirea aparatelor de protecție.*

● Prin **măsurile preventive de protecție** se evită apariția supratensiunilor sau se reduce durata lor. Aceste metode sînt aplicabile numai în ceea ce privește supratensiunile de origine internă și se realizează prin:

— proiectarea corespunzătoare a întreruptoarelor și a siguranțelor, astfel încît prin funcționare *să nu producă supratensiuni periculoase;*

— *punerea la pămînt a neutrului rețelelor;*

— *folosirea de relee de protecție* care să semnalizeze apariția unor puneri la pămînt în instalație;

— *evitarea anumitor manevre* care provoacă supratensiuni (întreruperea liniilor lungi sau a transformatoarelor mari, funcționînd în gol) și altele.

Aceste metode de protecție se referă, în general, la modul de exploatare a rețelelor de transport de energie electrică și nu se vor analiza mai în detaliu.

● Prin **folosirea de capacități de protecție** (condensatoare sau cabluri) se modifică forma undelor de impuls, reducînd panta frunții și valoarea de vîrf a acestora, dar prelungindu-le durata.

Deoarece, pentru obținerea unor efecte de protecție suficient de eficace împotriva supratensiunilor de origine atmosferică, ar fi necesare capacități foarte mari, această metodă de protecție nu este folosită în instalațiile de înaltă tensiune decît ca protecție ajutătoare, acolo unde cablurile sau condensatoarele servesc și pentru alte scopuri.

● Prin **folosirea de aparate de protecție** se amorsează un arc la pămînt care limitează valoarea de vîrf și durata supratensiunilor. După principiul de amorsare și stingere a arcului electric astfel format, aceste aparate de protecție se grupează în trei categorii: *eclatoare, descărcătoare tubulare, descărcătoare cu rezistență variabilă.*

În cele ce urmează se vor studia principiile de funcționare, soluțiile constructive și domeniile de utilizare ale fiecărei categorii dintre aceste aparate.

B. ECLATOARE

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Cele mai simple aparate de protecție împotriva supratensiunilor de origine atmosferică sînt *eclatoarele*. Acestea sînt formate din doi electrozi metalici, izolați între ei și amplasați în aer, la o anumită distanță unul de altul. Îndată ce tensiunea aplicată între electrozi depășește o anumită valoare, care depinde de forma electrozilor și de distanța dintre aceștia, spațiul de aer este străpuns amorsîndu-se astfel un arc electric. Dacă unul dintre electrozi este legat la linia aflată sub tensiune și celălalt la pămînt, se obține astfel o limitare a valorii supratensiunilor care pot să apară pe linie.

Eclatoarele sînt aparate simple, ieftine și eficace, de protecție împotriva supratensiunilor. Ele au o serie de deficiențe importante, și anume:

— tensiunea de amorsare a spațiului dintre electrozi nu are o valoare fixă, ci poate varia între limite largi, în funcție de forma și de starea electrozilor, de forma undei de impuls, de situația atmosferică etc.;

— în general nu pot stinge arcul amorsat, fiind necesară în acest scop scoaterea de sub tensiune a porțiunii respective din instalație; prin faptul că arcul arde în aer liber, pot provoca scurtcircuite.

Dată fiind simplitatea lor, ele sînt totuși folosite, îndeosebi ca protecție de rezervă pentru cazul cînd, dintr-un motiv oarecare, descărcătoarele cu rezistență variabilă (care se vor analiza mai departe) nu au funcționat corect.

2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Se deosebesc trei tipuri constructive de eclatoare, folosite ca aparate de protecție împotriva supratensiunilor:

- *eclatoare cu coarne;*
- *eclatoare cu tijă;*
- *inele* sau *coarne de protecție.*

● **Eclatoarele cu coarne** (fig. 28.2, *a*) sînt cele mai vechi aparate de protecție împotriva supratensiunilor, fiind folosite în trecut în locul descărcătoarelor. Se numesc astfel, deoarece electrozii au formă de coarne, pentru a se mări posibilitatea de întrerupere prin suflaj magnetic a arcului electric amorsat între ei.

În rețelele de curent alternativ, aceste aparate sînt din ce în ce mai puțin folosite, deoarece:

— tensiunea de amorsare a arcului electric variază între limite foarte mari;

— puterea de stingere a arcului electric este redusă;

— pot apărea scurtcircuite între faze;

— necesită mult spațiu, în raport cu eclatoarele cu tijă.

Ele sînt încă relativ frecvent folosite în rețelele de tracțiune electrică în curent continuu, deoarece descărcătoarele de curent continuu sînt mult mai scumpe și mai puțin perfecționate decît cele de curent alternativ.

● **Eclatoarele cu tijă** sînt cele mai folosite în prezent, deoarece sînt de construcție simplă, necesită un spațiu redus și nu prezintă o variație prea mare a valorii tensiunii de amorsare.

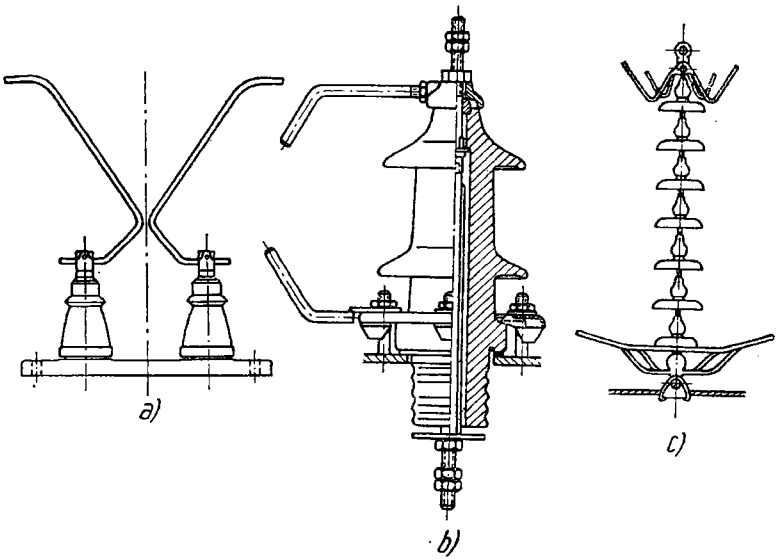


Fig. 28.2. Eclatoare de protecție împotriva supratensiunilor:
a — eclator cu coarne; *b* — eclator cu tijă; *c* — inel și coarne de protecție.

Se montează îndeosebi pe izolatoarele de trecere ale transformatoarelor (fig. 28.2, *b*), avînd rolul de a limita valoarea tensiunii care poate să apară la bornele acestora. De obicei, arcul amorsat nu se stinge de la sine, fiind necesară scoaterea de sub tensiune a instalației pentru foarte scurt timp.

● **Inelele sau coarnele de protecție** sînt eclatoare cu formă specială, pentru protecția lanțurilor de izolatoare ale liniilor aeriene de înaltă tensiune (fig. 28.2, *c*). Coarnele de protecție au următoarele funcțiunii:

— *uniformizarea repartiției tensiunii* pe diferite izolatoare din lanț;

— *asigurarea unei anumite tensiuni de conturnare* a lanțului de izolatoare, independent de starea suprafeței acestora;

— *menținerea arcului de conturnare cît mai departe de suprafața izolataorelor*, pentru ca acestea să nu fie deteriorate prin acțiunea termică și dinamică a arcului electric;

— *ușurarea stingerii de la sine a arcului electric*, fără a provoca scurtcircuite între faze.

C. DESCĂRCĂTOARE

Așa cum s-a arătat, eclatoarele prezintă dezavantajul important că, în general, nu pot stinge arcul electric amorsat între electrozi.

Descărcătorul este un *aparat de protecție împotriva supratensiunilor, construit astfel încît să realizeze două funcțiuni:*

— *limitarea supratensiunilor* care pot să apară între conducta protejată și pămînt, prin stabilirea unei legături de mică impedanță, la pămînt;

— *întreruperea automată a legăturii cu pămîntul* și restabilirea izolației conductei, îndată ce supratensiunea a fost anulată.

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Particularitatea esențială a descărcătoarelor față de eclatoare o constituie proprietatea lor de a restabili izolația conductei protejate, fără a fi necesară întreruperea funcționării instalației.

Ca și eclatoarele, descărcătoarele se montează îndeosebi între conductele de fază și pământ.

2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Descărcătoarele se realizează sub formă de:

- *descărcătoare tubulare;*
- *descărcătoare cu rezistență variabilă.*

a. Descărcătoare tubulare

● **Principiul de funcționare.** Descărcătorul tubular (fig. 28.3) este un *eclator care realizează* (după modul de funcționare al întreruptoarelor cu autoformare de gaze) *și stingerea arcului electric amorsat între electrozi.* Pentru aceasta, electrodul cu rol de limitare a valorii supratensiunilor este introdus într-un tub din material izolant, care sub acțiunea temperaturii înalte a arcului electric poate degaja o mare cantitate de gaze.

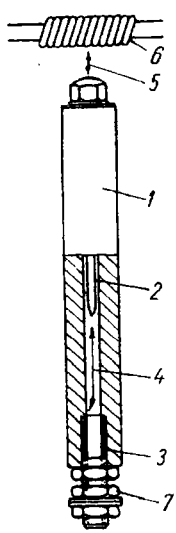


Fig. 28.3. Descărcător tubular:
1 — tub izolant din material generator de gaze; *2* — electrod superior; *3* — electrod inferior; *4* — distanța interioară de amorsare; *5* — distanța exterioară de amorsare; *6* — conductă protejată; *7* — piese de fixare.

Pentru a se evita solicitarea continuă a dielectricului tubului, se intercalează de obicei un al doilea eclator între descărcător și conductorul protejat.

La apariția unei unde de tensiune care depășește tensiunea de amorsare a descărcătorului, spațiul de amorsare din interiorul tubului și cel exterior sînt străpunse, amorsîndu-se un arc electric prin intermediul căruia unda este canalizată la pământ. După anihilarea în acest mod a supratensiunii, distanțele de amorsare rămîn puternic ionizate, ceea ce face ca prin descărcător să continue să treacă, sub formă de arc electric, un curent alimentat de tensiunea de serviciu a rețelei, numit *curent de însoțire* sau *curent rezidual.*

În cazul descărcătoarelor tubulare, care au în timpul funcționării o rezistență internă mică, curentul rezidual este practic egal cu cel care s-ar stabili prin legarea directă la pământ a rețelei în acest punct („curent de punere la pământ"). Temperatura înaltă a arcului electric (6 000—7 000°C) descompune materialul peretelui tubului, degajînd o mare cantitate de gaze, care creează în interiorul tubului o presiune foarte mare (40—100 at). Datorită acestei presiuni mari, gazele părăsesc exploziv tubul, dezionizînd spațiul interior de amorsare; astfel se obține, în două-trei semiperioade, stingerea arcului electric și restabilirea izolației conductei protejate.

● **Caracteristici tehnice.** Deoarece gazele necesare întreruperii sînt produse de însuși curentul care trebuie întrerupt, descărcătoarele tubulare vor funcționa normal între următoarele două *valori limită ale curentului de punere la pămînt a liniei:*

— *o limită superioară* (circa 7—10 kA), peste care cantitatea de gaze produse este prea mare, presiunea interioară putînd distruge tubul;

— *o limită inferioară*, sub care cantitatea de gaze produse este prea mică și întreruperea nu se mai poate realiza într-un timp suficient de scurt (cel mult 5—7 semiperioade).

Aceste limite depind, în foarte mare măsură, de mărimea diametrului interior al tubului.

Valoarea curentului de punere la pămînt a liniei depinde în foarte mare măsură de felul cum este legat neutrul rețelei la pămînt (neutrul poate fi și izolat față de pămînt) și, într-o anumită măsură, de poziția descărcătorului în rețea. De aceea, la alegerea descărcătoarelor tubulare trebuie avute în vedere cele două limite de funcționare sigură.

Mărimile caracteristice ale unui descărcător tubular sînt: *tensiunea nominală; zona de funcționare; tensiunea de amorsare la frecvența industrială, tensiunea de amorsare la impuls.*

Primele două mărimi se indică de obicei sub forma unei fracții, în care numărătorul reprezintă tensiunea nominală, în kilovolți, iar numitorul reprezintă cele două limite de funcționare, exprimate în kiloamperi.

De exemplu, notația DTF $\frac{15}{0{,}4 \ldots 3}$ indică un descărcător tubular cu tubul din fibră, pentru tensiunea nominală de 15 kV, funcționînd corect în locuri în care curentul de punere la pămînt a rețelei este cuprins între 0,4 și 3 kA.

● **Domenii de utilizare.** Descărcătoarele tubulare sînt folosite îndeosebi pentru protecția liniilor și a stațiilor mici de transformare, în instalațiile cu tensiuni nominale cuprinse între 3 și 110 kV. Pot fi, de asemenea, folosite cu succes ca protecție de ajutor (suplimentară) a stațiilor importante, fiind montate pe stîlpii de la intrarea în stație, cu scopul de a reduce solicitările la care sînt supuse descărcătoarele cu rezistență variabilă din stație, în cazul unor lovituri de trăsnet apropiate.

b. Descărcătoare cu rezistență variabilă

● **Construcția.** Descărcătoarele cu rezistență variabilă sînt cele mai perfecționate aparate de protecție împotriva supratensiunilor, folosite în prezent. Un descărcător cu rezistență variabilă este format din următoarele elemente (fig. 28.4);

— *o coloană cu discuri 1*, obținute din praf de carbură de siliciu (carborund) aglomerat cu anumiți lianți, care constituie o rezistență variabilă în funcție de tensiune;

— *o coloană de eclatoare identice 2*, formate din discuri de cupru sau de alamă separate prin distanțiere (de mică, steatită etc.);

— *un izolator de porțelan*, în interiorul căruia sînt închise ermetic eclatoarele și rezistențele;

— *bornele* de legătură electrică și *elementele de fixare mecanică.*

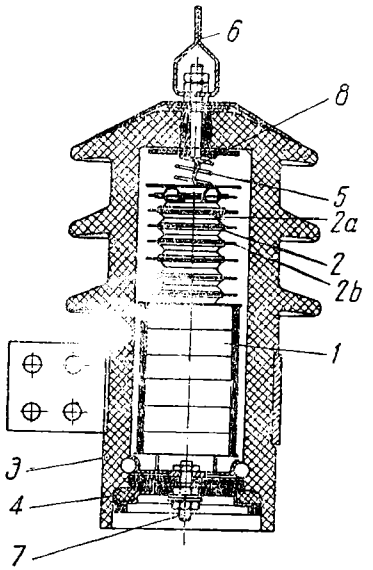


Fig. 28.4. Descărcător cu rezistență variabilă:

1 — discuri de carborund; *2* — eclatoare; *2a* — discuri de cupru sau alamă; *2b* — inele distanțiere de mică; *3* — carcasă de porțelan; *4* — inele de etanșare; *5* — arc de oțel; *6* — clemă pentru legarea la linie; *7* — borne de legare la pămînt; *8* — conductă flexibilă de cupru.

● **Principiul de funcționare** (fig. 28.5). Eclatorul este astfel dimensionat, încît asigură izolația față de pămînt a conductorului protejat, la tensiunea de serviciu și supratensiuni interne de valoare normală. La apariția unei supratensiuni care depășește aceste valori, eclatorul amorsează, practic fără întîrziere, un arc electric. Se stabilește astfel prin intermediul rezistențelor, un curent de legare la pămînt. În felul acesta energia undei de supratensiuni se scurge spre pămînt, discurile de rezistență variabilă fiind străbătute, timp de cîteva zeci de microsecunde de un curent de impuls de cîteva sute pînă la cîteva mii de amperi.

Deoarece discurile de rezistență variabilă au proprietatea de a-și reduce cu atît mai mult rezistența, cu cît tensiunea aplicată este mai mare, căderea de tensiune la bornele descărcătorului, numită *tensiune reziduală* (a cărei valoare este dată de produsul dintre valorile momentane ale curentului ce străbate descărcătorul și a rezistenței discurilor) se menține la valori nepericuloase pentru izolația instalației.

După ce supratensiunea a fost anihilată în acest mod, eclatorul rămîne ionizat, iar prin descărcător continuă să treacă un curent alimentat de tensiunea de serviciu, numit curent de însoțire. Dar, la valoarea tensiunii de serviciu corespunde o valoare mult mai mare a rezistenței variabile, care limitează curentul prin descărcător, la valori suficient de mici (cîteva zeci de amperi), pentru a putea fi stins de eclator la prima trecere naturală prin zero.

○ **Recapitulînd,** rezultă următoarele funcțiuni ale celor trei elemente principale ale unui descărcător cu rezistență variabilă:

— *eclatorul* asigură, în funcționarea normală, izolația necesară a conductei față de pămînt și stabilește legătura cu pămîntul la apariția unei supratensiuni care depășește un anumit nivel; el întrerupe curentul de însoțire;

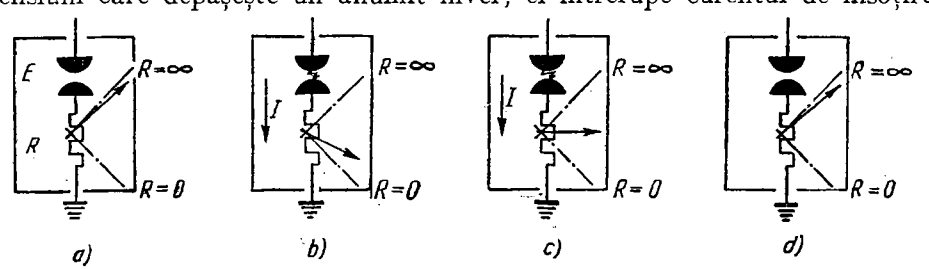


Fig. 28.5. Modul de funcționare al unui descărcător cu rezistență variabilă:

a — înainte de amorsare (rezistență aproape infinită, curent zero); *b* — amorsare la impuls de tensiune (rezistență foarte mică, curent de trecere foarte mare); *c* — după scurgerea undei de impuls prin descărcător trece „curentul de însoțire" (rezistență mare, curent de valoare mult mai mică decît în cazul precedent); *d* — după întreruperea curentului de însoțire, revenit la starea inițială.

E — eclator; *R* — discuri de carborund (rezistențe variabile); *I* — curentul prin descărcător.

— *rezistențele variabile*, care trebuie să opună o rezistență cît mai mică în calea curentului de impuls, limitează curentul de însoțire la valori atît de mici, încît să poată fi întrerupt de eclator;

— *izolatorul* asigură izolația exterioară și menține eclatorul și rezistențele într-un spațiu uscat, ferit de influențele exterioare și, îndeosebi, de acțiunea dăunătoare a umidității și oxigenului.

● **Caracteristici tehnice.** Mărimile nominale ale descărcătoarelor cu rezistență variabilă sînt: *tensiunea nominală, tensiunile de amorsare, tensiunea reziduală* și *capacitatea de scurgere.*

Tensiunea nominală este parametrul cel mai important al unui descărcător cu rezistență variabilă, deoarece, în funcție de această tensiune sînt stabilite atît condițiile de funcționare (amorsarea și stingerea curentului de însoțire), cît și nivelul de protecție (tensiunea reziduală) a descărcătorului. Folosirea unui descărcător de tensiune nominală mai mare decît este necesar, anulează în mare măsură efectul de protecție al acestuia, iar folosirea unui descărcător cu tensiune nominală mai mică decît este necesar, duce la distrugerea descărcătorului (nu poate întrerupe curentul de însoțire).

Tensiunea de amorsare *la frecvență industrială*, tensiunea de amorsare la *impuls* și **tensiunea reziduală**, sînt mărimi care definesc nivelul de izolație și de protecție al descărcătorului.

Capacitatea de scurgere se exprimă în kiloamperi și arată ce curenți de impuls, de o anumită formă, pot trece prin descărcător fără ca tensiunea reziduală nominală să fie depășită.

● **Calități și deficiențe.** *Calitățile* descărcătoarelor cu rezistență variabilă sînt următoarele: valoarea tensiunii de amorsare la impuls este coborîtă și constantă; întreruperea curentului de însoțire este sigură (la prima sa trecere prin zero); funcționează fără a provoca nici un fel de perturbații în continuitatea serviciului.

Rezistoarele cu rezistență variabilă prezintă însă și următoarele *deficiențe:* au un preț ridicat, pot fi distruse la curenți mari de trăsnet sau în caz de amorsare la supratensiuni interne de lungă durată (în acest caz, explozia izolatorului poate provoca accidente).

În ultimii ani s-au elaborat construcții noi de descărcătoare, numite *descărcătoare cu suflaj magnetic*, la care, prin suflaj magnetic se îmbunătățesc posibilitățile eclatoarelor de a stinge curenți reziduali de 200 ... 300 A (față de 60 ... 100 A, cît realizau construcțiile anterioare), ceea ce permite descărcătoarelor să reducă nivelul supratensiunilor care pot să apară în instalație, limitînd într-o anumită măsură chiar și supratensiunile de origine internă.

● **Domenii de utilizare.** În prezent se construiesc descărcătoare cu rezistență variabilă *pentru întreaga gamă de tensiuni*, de la 220 V pînă la 400 kV, fiind folosite îndeosebi pentru protecția transformatoarelor mari și a aparatajului din centralele electrice și din stațiile de distribuție mari.

În figura 28.6 se indică modul de legare a descărcătoarelor cu rezistență variabilă în cîteva situații specifice de utilizare. Astfel:

— figura 28.6, *a* indică modul de conectare a descărcătoarelor cu rezistență variabilă în cazul (cel mai frecvent) folosirii lor pentru protecția transformatoarelor de putere; descărcătoarele sînt montate între faze și pămînt, direct la bornele transformatorului sau în imediata vecinătate a acestuia;

— figura 28.6, *b* indică modul de conectare în cazul folosirii descărcătorului la protecția neutrului unui transformator mare (protecție împotriva

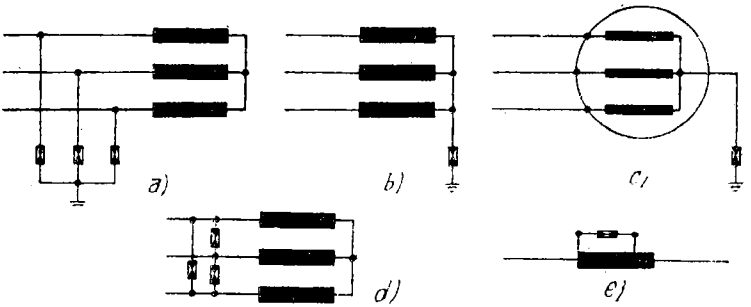


Fig. 28.6. Moduri caracteristice de conectare a descărcătoarelor cu rezistență variabilă.

supratensiunilor provocate în neutru de reflexia în acest punct a undelor de impuls de tensiune venite de pe linie);

— figura 28.6, *c* reprezintă modul de conectare a descărcătorului cu rezistență variabilă, în cazul folosirii pentru protecția unui motor de înaltă tensiune conectat la o linie aeriană;

— figura 28.6, *d* reprezintă un mod de legare mai puțin frecvent, și anume descărcătoarele sînt conectate între faze (nu între fază și pămînt, așa cum este uzual), în scopul de a reduce solicitările determinate de anumite supratensiuni de origine internă care iau valori mai mari între faze decît față de pămînt. Acest mod de conectare este folosit uneori în rețele de foarte înaltă tensiune, unde importanța supratensiunilor interne poate fi mai mare decît cea a supratensiunilor de origine atmosferică;

— figura 28.6, *e* reprezintă utilizarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă pentru protecția unui autotransformator de înaltă tensiune (se folosesc descărcătoare cu rezistență variabilă atît pentru protecția înfășurării de reglaj, cît și pentru a evita trecerea unor unde periculoase de impuls prin înfășurare în serie a autotransformatorului dintr-o rețea în cealaltă).

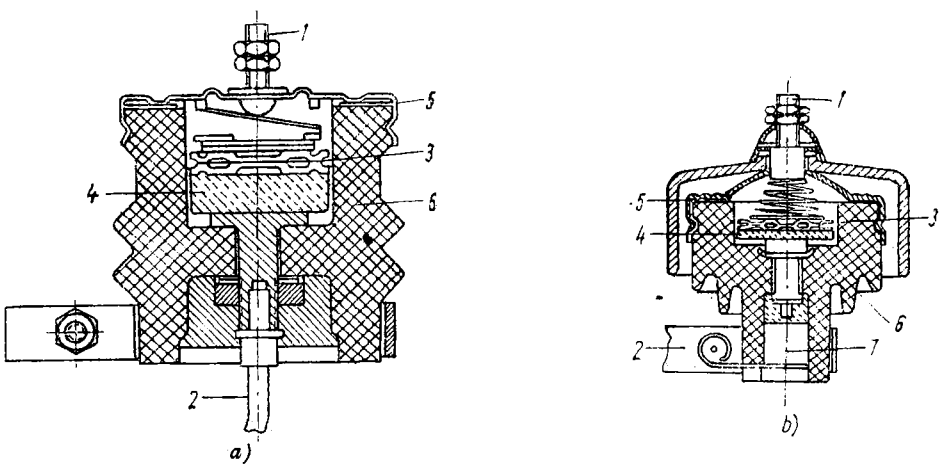


Fig. 28.7. Descărcătoare cu rezistență variabilă de joasă tensiune:

a — construcție fără indicator de funcționare; *b* — construcție cu indicator de funcționare. *1* — bornă de legare la linie; *2* — bornă de legare la pămînt; *3* — eclator de amorsare; *4* — disc de rezistență variabilă cu tensiunea; *5* — garnitură de etanșare; *6* — izolator; *7* — fir fuzibil.

În instalațiile de joasă tensiune se folosesc descărcătoare cu rezistență variabilă îndeosebi pentru protecția instalațiilor electrice din locuințe alimentate cu energie electrică prin linii aeriene. Descărcătoarele cu rezistențe variabile de joasă tensiune sînt, de obicei, formate dintr-un singur eclator și un singur disc de rezistență variabilă, închise ermetic în interiorul unui izolator.

O particularitate a multor descărcătoare cu rezistență variabilă de joasă tensiune o constituie prezența unui element de siguranță care întrerupe vizibil legătura la pămînt în cazul în care, ca urmare a unei solicitări prea puternice, electrozii eclatorului s-au sudat între ei, punînd astfel linia la pămînt (fig. 28.7).

În rețelele de curent continuu, folosirea descărcătoarelor cu rezistență variabilă este mult mai restrînsă, datorită dificultăților de stingere a arcului electric de curent continuu, care persistă în eclator după anularea supratensiunilor de impuls.

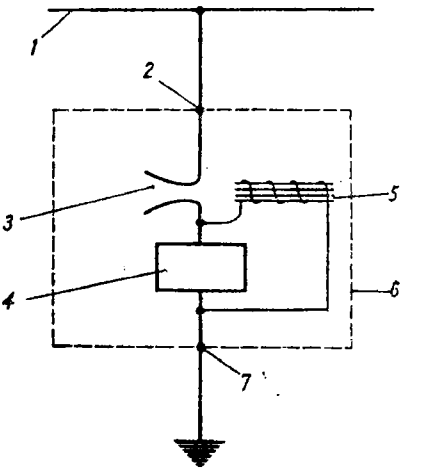


Fig. 28.8. Descărcător cu suflaj magnetic folosit în rețele de curent continuu: *1* — linie de curent continuu; *2* — bornă de legare la linie; *3* — eclator; *4* — disc de rezistență variabilă cu tensiunea; *5* — bobină de suflaj magnetic cu miez de fier; *6* — carcasa descărcătorului; *7* — bornă de legare la pămînt.

Pentru liniile de tracțiune electrică de 700—3 000 V s-au realizat descărcătoare de rezistență variabilă de construcție specială, la care stingerea arcului de curent continuu rezidual este favorizată mult prin folosirea suflajului magnetic.

Un astfel de descărcător cu rezistență variabilă pentru rețelele de curent continuu este reprezentat în figura 28.8. Principiul de funcționare este următorul: în mod normal, linia *1* este izolată față de pămînt prin eclatorul *3*; la apariția unei unde de supratensiune, eclatorul amorsează și prin discul *4* trece spre pămînt un curent de impuls de valoare mare; în acest timp, rezistența (variabilă cu tensiunea) a discului are o valoare redusă, deci prin înfășurarea bobinei de suflaj *5* trece un curent de intensitate mică. După anihilarea, în acest mod, a undei de supratensiune, prin descărcător continuă să treacă un curent alimentat de tensiunea rețelei, însă valoarea rezistenței discului *4* se mărește mult și curentul de punere la pămînt a liniei este obligat să treacă prin bobina de suflaj magnetic *5*, care contribuie la stingerea arcului electric în eclator.

Capitolul 29

TRANSFORMATOARE DE MĂSURĂ

● A. TRANSFORMATOARE DE CURENT ● B. TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE ● C. TRANSFORMATOARE COMBINATE

Din considerente economice, transportul energiei electrice la distanțe mari se face la tensiuni înalte, de ordinul zecilor și sutelor de kilovolți. Dar, puterile și tensiunile mari impun luarea unor măsuri ample de supraveghere și protecție. Este necesar, deci să se cunoască în fiecare moment care este valoarea reală a curentului și tensiunii diferitelor circuite electrice, iar la nevoie să se influențeze condițiile de funcționare ale instalației electrice. Pentru aceasta, este nevoie de un mare număr de aparate de măsurat, de relee și diferite aparate de protecție, supraveghere și comandă.

Construirea de relee și aparate de măsurat pentru tensiunile și curenții efectiv existenți în instalație (de exemplu, construirea de relee sau aparate de măsură conectate direct la o rețea de 110 kV) nu este rațională, deoarece aceasta ar duce la soluții greoaie, scumpe și periculoase în exploatare. De aceea, în instalațiile de curent alternativ (cele mai răspîndite în transportul și distribuția energiei electrice), a căror tensiune nominală depășește 600 ... 1 000 V și al căror curent nominal depășește 50—100 A, se renunță la racordarea directă la rețea a aparatelor de măsurat și a releelor de protecție. Acestea se execută pentru o singură tensiune nominală (100 V) și pentru un singur curent (5 A)* și se alimentează prin transformatoare de măsură, care reduc curentul și tensiunea instalației la valori cuprinse în scara aparatelor de măsurat și a releelor (0 ... 5 A și 0 ... 100 V).

Se obțin, în felul acesta, următoarele avantaje deosebit de importante:

— *se reduce considerabil numărul de tipuri de aparate* de măsurat și protecție, putîndu-se folosi astfel, pentru orice tensiune și orice intensitate a curentului, aparate de măsurat și de protecție de construcție standardizată, simple, ieftine și de mare precizie și sensibilitate;

— *se mărește mult siguranța exploatării instalațiilor*, deoarece personalul de supraveghere vine în contact imediat numai cu aparate de tensiune joasă;

— *se micșorează mult costul și spațiul* necesar instalațiilor electrice, deoarece un transformator de măsură alimentează mai multe aparate, care au

* În instalațiile în care sînt necesare legături lungi pînă la relee și aparate de măsură, se folosesc în prezent, pentru a se reduce secțiunea cablurilor respective, aparate și relee construite pentru 1 A, alimentate de transformatoare de măsură corespunzătoare.

dimensiuni foarte reduse, pentru că funcționează la tensiuni reduse; secțiunile cablurilor și conductoarelor pentru circuitele de măsurare, protecție, comandă și semnalizare sînt foarte mult reduse;

— *devine posibilă supravegherea centralizată* și în bune condiții de lucru a funcționării întregii instalații, prin gruparea tuturor aparatelor de măsurat, comandă și protecție în posturi de comandă și supraveghere, situate la anumite distanțe de instalație (de exemplu, se poate comanda, dintr-un singur post, un lanț de hidrocentrale așezate în lungul unui rîu).

Pentru alimentarea tuturor aparatelor de măsurat și protecție ale instalațiilor electrice, se folosesc două categorii de transformatoare de măsură: *transformatoare de curent* și *transformatoare de tensiune*.

Din punctul de vedere al principiului de funcționare, aceste transformatoare nu se deosebesc de transformatoarele de putere, fiind alcătuite dintr-o înfășurare primară și una sau mai multe înfășurări secundare, izolate de înfășurarea primară dar cuplate magnetic cu aceasta prin intermediul unui miez comun din tablă silicioasă de transformator. Puterea transformatoarelor de măsură este relativ mică (cîteva zeci de VA).

A. TRANSFORMATOARE DE CURENT

Rolul transformatoarelor de curent este de *a alimenta bobinele de curent ale aparatelor de măsurat și protecție a instalației*, ca de exemplu: ampermetrele, bobinele de curent ale contoarelor și wattmetrelor; bobinele de curent ale relelor de protecție etc.

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Înfășurarea primară a transformatorului de curent se leagă în serie în circuitul care se măsoară, iar înfășurarea secundară alimentează circuitul de curent al aparatului de măsurat sau al releului alimentat (în cazul cînd aceeași înfășurare secundară alimentează mai multe aparate, înfășurările de curent ale acestora se leagă toate în serie, ca în figura 29.1).

Curentul primar al transformatorului de măsură este determinat numai de variațiile de sarcină din circuitul primar, fiind independent de numărul și de caracteristicile aparatelor conectate la înfășurarea secundară. La variații ale curentului primar, variază proporțional și curentul secundar, astfel încît aparatele de măsurat dau o indicație proporțională cu curentul primar (de obicei, ele se gradează ținîndu-se seamă de raportul de transformare, indicînd astfel direct valoarea curentului primar).

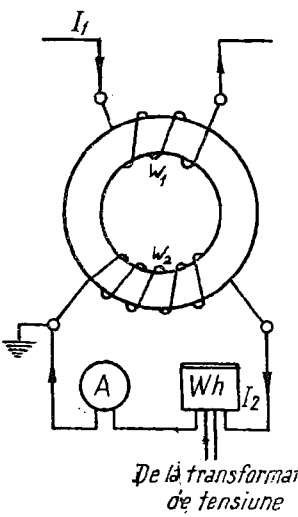


Fig. 29.1. Schema de principiu pentru conectarea transformatoarelor de curent:

I_1 — curent primar; I_2 — curent secundar; w_1 — înfășurare primară; w_2 — înfășurare secundară; A — ampermetru; Wh — contor electric.

2. CARACTERISTICI TEHNICE

Tensiunea nominală reprezintă de fapt tensiunea nominală primară; este egală cu tensiunea nominală a circuitului la care se racordează înfăşurarea primară şi determină condiţiile de încercare ale izolaţiei transformatorului de curent.

Curentul nominal primar este o valoare de curent standardizată, pentru care este dimensionată înfăşurarea primară.

Curentul nominal secundar este de obicei 5 A (uneori 1 A).

Raportul nominal de transformare este raportul dintre curentul nominal primar şi curentul nominal secundar.

Puterea nominală se indică în volt-amperi (VA) pe plăcuţa transformatorului şi reprezintă sarcina care se poate conecta în secundar, astfel încît să nu se depăşească limitele admise pentru erori, la o anumită clasă de precizie. Cu creşterea sarcinii secundare cresc, şi erorile transformatorului, adică valoarea curentului secundar nu mai este riguros proporţional cu valoarea curentului primar, ci se abate cu o anumită mărime, numită *„eroare de curent"*, care se exprimă în procente.

Clasa de precizie a unui transformator de curent exprimă în procente valoarea maximă a erorii de curent care apare atunci cînd înfăşurarea secundară este parcursă de curentul nominal. De exemplu, un transformator de curent este de clasa 0,2 atunci cînd, funcţionînd la curentul nominal, eroarea este cel mult egală cu $\pm$ 0,2% din aceasta (la 100% sarcină şi la o anumită valoare a factorului de putere al circuitului).

Prin norme au fost stabilite următoarele clase de precizie: 0,2—0,5—1—3 şi 10. Clasele de precizie 0,2 şi 0,5 corespund măsurărilor precise la laborator sau bancuri de probă, precum şi pentru alimentarea contoarelor de energie. Clasa de precizie 1 corespunde măsurărilor industriale cu aparate de tablou. Clasele 3 şi 10 servesc mai puţin pentru măsurare şi îndeosebi pentru alimentarea releelor de protecţie.

Curentul limită termic este acea valoare a curentului primar (exprimat în kA_{ef}) pe care transformatorul de curent, avînd secundarul în scurtcircuit, o poate suporta fără a se deteriora, timp de o secundă. Valoarea sa se exprimă, adesea, şi ca multiplu al curentului nominal.

Curentul limită dinamic este valoarea de vîrf (exprimată în kA_{max} a celui mai mare curent pe care transformatorul de curent, avînd secundarul în scurtcircuit, o poate suporta, din punctul de vedere al solicitărilor dinamice, fără a se deteriora.

Deoarece transformatoarele de curent au înfăşurarea primară în serie în circuitul de înaltă tensiune, aceasta este parcursă, în caz de defect oriunde în instalaţie, de curenţii de scurtcircuit ai instalaţiei şi, de aceea, pentru aceste transformatoare se pune în mod deosebit problema rezistenţei termice şi dinamice la curenţii de scurtcircuit.

Cifra de supracurent este o mărime specifică transformatoarelor de curent, şi anume este acea valoare a curentului primar (exprimată ca multiplu al curentului primar nominal) pentru care, la sarcină secundară nominală, eroarea de curent atinge 10%. Cifra de supracurent indică, deci, măsura în care curentul secundar se menţine proporţional cu cel primar *şi la valori ale curentului primar mult mai mari decît curentul nominal.*

○○○ **Important de reţinut.** Transformatoarele de curent trebuie *să aibă întotdeauna înfăşurarea secundară racordată la un aparat de măsurat sau de protecţie.* În caz contrar, la bornele circuitului secundar pot apărea tensiuni periculoase. În cazul în care nu este conectată nici o sarcină la circuitul secundar al unui transformator de curent, *bornele secundare trebuie legate între ele în scurtcircuit.*

3. SOLUŢII CONSTRUCTIVE

Transformatoarele de curent se construiesc întotdeauna ca *transformatoare monofazate cu înfăşurări separate,* montate pe un miez magnetic comun, funcţionînd după acelaşi principiu ca şi transformatoarele de forţă; ele au, însă, puteri mult mai mici, iar la construirea lor se iau măsuri speciale pentru asigurarea preciziei raportului de transformare.

După valoarea tensiunii nominale a instalaţiei în care se utilizează, transformatoarele de curent se împart în două mari categorii:

- *transformatoare de curent utilizate în instalaţii de medie tensiune* (1 ... ... 60 kV);
- *transformatoare de curent utilizate în instalaţii de foarte înaltă tensiune* (110 ... 750 kV).

● **Transformatoarele de curent de medie tensiune** pot fi grupate, **după soluţia constructivă,** astfel:

— *transformatoare tip suport* (fig. 29.2 şi 29.3), avînd forma apropiată de a unui izolator suport;

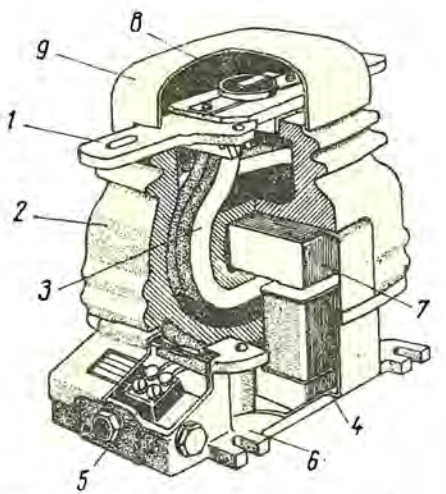


Fig. 29.2. Transformator de curent de medie tensiune (20 kV — 630 A) tip „suport", cu izolaţie din porţelan:
1 — borne de racord la linia de înaltă tensiune; *2* — izolator de porţelan; *3* — înfăşurare primară; *4* — înfăşurare secundară; *5* — borne de racord ale circuitelor secundare; *6* — placă de bază din silumin; *7* — miez magnetic; *8* — disc de rezistenţă variabilă; *9* — capac de protecţie.

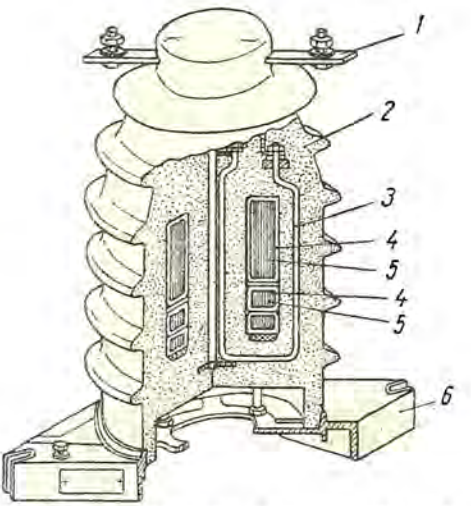


Fig. 29.3. Transformator de curent, de medie tensiune (20 kV — 630 A), tip „suport", cu izolaţie din răşini epoxidice:
1 — bornă de legare la linia de înaltă tensiune; *2* — izolaţie din răşină epoxidică; *3* — înfăşurare primară; *4* — înfăşurare secundară pe miez toroidal; *5* — miez magnetic; *6* — soclu de silumin.

Fig. 29.4. Transformator de curent de medie tensiune, tip „de trecere" (10 kV — 2 000 A) cu izolație din porțelan.

— *transformatoare tip de trecere* (fig. 29.4), avînd forma apropiată de cea a unui izolator de trecere;

— *transformatoare de bară* (fără circuit primar încorporat) (fig. 29.5). Aceste transformatoare sînt prevăzute numai cu miezul magnetic toroidal, bobinajul secundar și izolația necesară, înfășurarea primară urmînd să fie constituită din însăși bara conducătoare de curent a circuitului supravegheat.

În ceea ce privește natura izolației principale folosite, se deosebesc:

— *transformatoare de curent cu izolație uscată* (bachelită, porțelan sau rășină de turnare), folosite numai la instalațiile de interior;

— *transformatoare de curent cu izolație în ulei*, folosite în instalații de exterior sau acolo unde condițiile climatice sînt grele.

Bachelita este folosită ca izolant principal la transformatoarele de curent de joasă tensiune.

Izolația de porțelan (fig. 29.2 și 29.4) se folosește din ce în ce mai puțin, fiind în prezent înlocuită cu instalațiile de interior de medie tensiune cu izolația din rășini epoxidice (fig. 29.3 și 29.5).

● **Transformatoarele de curent** utilizate **în instalații de foarte înaltă tensiune** (110 ... 750 kV) se construiesc aproape numai ca transformatoare de exterior, cu izolație în ulei.

La construcția *tip suport*, așa cum se reprezintă în figura 29.6, partea activă a transformatorului, adică miezul magnetic și înfășurările sînt amplasate în interiorul izolatorului, care este fixat etanș pe un soclu din tablă sudată.

O altă construcție, foarte mult folosită, este cea în care partea activă a transformatorului este amplasată într-o *cuvă* metalică, izolatorul servind numai ca izolator de trecere. Prin această variantă constructivă se realizează transformatoare de curent mai înalte, ceea ce reprezintă un dezavantaj, îndeosebi pentru instalațiile de 110 kV, de interior. La tensiunea de 220 kV însă, unde

Fig. 29.5. Transformatoare de curent fără circuit primar încorporat (diferite soluții constructive), cu izolație din rășini de turnare:
a — pentru bară rotundă; *b* — pentru bară profilată; *c* — pentru cablu.

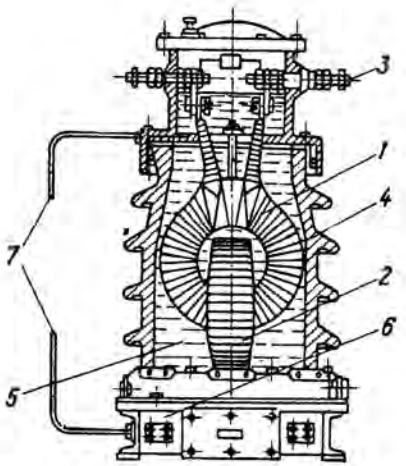


Fig. 29.6. Transformator de curent tip „suport" cu izolație în ulei, pentru instalații de exterior de 35 kV:
1 — înfășurarea primară; *2* — înfășurări secundare pe miez toroidal; *3* — borne de racord la linia de înaltă tensiune; *4* — izolator de porțelan; *5* — ulei; *6* — soclu; *7* — eclator.

Fig. 29.7. Transformator de curent de 275 kV, 1 200 A cu cuvă metalică.

diferența de înălțime dintre cele două variante constructive este mai mică, tipul cu cuvă este mai frecvent folosit, deoarece realizează construcții mai ușoare și cu conținut mai mic de ulei (fig. 29.7).

B. TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

Transformatoarele de tensiune servesc *pentru alimentarea aparatelor de măsurat tensiune și a bobinelor de tensiune ale diferitelor relee și aparate de protecție, cu o tensiune proporțională și în fază cu cea din circuitul de înaltă tensiune.*

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Ca mod de funcționare, transformatoarele de tensiune inductive * nu se deosebesc de cele de forță, avînd doar o putere mult mai mică, o tensiune de scurtcircuit redusă și un raport de transformare mult mai exact și mai constant la variații de sarcină.

Înfășurarea primară a transformatoarelor de tensiune se leagă între punctele a căror tensiune trebuie măsurată, iar de la bornele înfășurării secundare

* Majoritatea transformatoarelor de tensiune sînt de tip *inductiv*; există însă și transformatoare de tensiune *capacitive*, al căror principiu de funcționare va fi analizat mai departe.

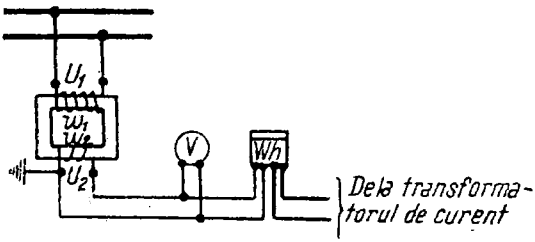


Fig. 29.8. Schema de principiu a unui transformator monofazat de tensiune:
U_1 — tensiune primară; U_2 — tensiune secundară; w_1 — înfășurare primară; w_2 — înfășurare secundară; V — voltmetru; h — contor electric.

se alimentează bobinele de tensiune ale aparatelor de măsurat și ale releelor (fig. 29.8).

Spre deosebire de transformatoarele de curent, unde circuitele tuturor aparatelor alimentate de secundar erau conectate în *serie* cu înfășurarea secundară a transformatorului de curent, la transformatoarele de tensiune toți consumatorii se conectează *în paralel* cu înfășurarea secundară a acestuia.

○○○ **Important de reținut.** Spre deosebire de transformatoarele de curent, *înfășurarea secundară* a transformatoarelor de tensiune *poate rămîne deschisă*, respectiv se pot însera siguranțe fuzibile de protecție, dar această înfășurare nu trebuie să fie niciodată legată în scurtcircuit, deoarece ar determina distrugerea transformatorului de măsură.

2. CARACTERISTICI TEHNICE

Tensiunea nominală primară este valoarea de tensiune nominalizată pentru care este construită înfășurarea de înaltă tensiune a transformatorului și este dimensionată izolația ei. În cazul transformatoarelor de tensiune cu un pol legat la pămînt, tensiunea nominală este tensiunea de fază, exprimată în kilovolți, sub forma $35/\sqrt{3}$ sau $110/\sqrt{3}$ kV.

Tensiunea nominală secundară este, pentru toate transformatoarele de tensiune, 100 V sau $100/\sqrt{3}$ V.

Puterea nominală este puterea, indicată în volt-amperi (VA), pe care o poate debita permanent, fără a fi depășite erorile corespunzătoare unei anumite clase de precizie. Și la transformatoarele de tensiune, creșterea sarcinii secundare determină o creștere a erorii de tensiune, care se exprimă, de asemenea, în procente.

Clasa de precizie a transformatoarelor de tensiune se definește, ca și la cele de curent, ca fiind abaterea, exprimată în procente, a valorii reale a tensiunii existente la borne față de cea teoretică dată de raportul de transformare.

Sînt normalizate următoarele clase de precizie: 0,2 și 0,5 (pentru măsurări de precizie); 1 (pentru măsurări tehnice normale); 3 (pentru alimentarea releelor de protecție).

Puterea limită a unui transformator de tensiune este acea valoare a sarcinii secundare, indicată în volt-amperi (VA), pe care transformatorul o poate suporta permanent din punctul de vedere al încălzirii, fără a se lua în considerație vreo precizie a raportului de transformare.

● **Din punctul de vedere al izolației principale** folosite în construcția transformatoarelor de tensiune, se deosebesc:

— *transformatoare de tensiune cu izolație de rășini de turnare* (fig. 29.9), soluție folosită numai la instalațiile de medie tensiune, de interior;

— *transformatoare de tensiune cu izolație în ulei* (fig. 29.10).

● **Din punctul de vedere al principiului de funcționare,** se deosebesc:

— *transformatoare de tensiune inductive;*

— *transformatoare de tensiune capacitive.*

● **Din punctul de vedere al realizării constructive propriu-zise,** există diferențe între transformatoarele pentru tensiuni mai mari și mai mici.

Astfel, *transformatoarele de tensiune pentru tensiuni pînă la* 35 kV, se pot executa:

— *cu unul sau cu ambii poli ai înfășurării de înaltă tensiune izolați* (fig. 29.11, *a*);

— *în execuție de interior sau de exterior;*

— *în construcție monofazată sau trifazată* (fig. 29.11, *b*).

Transformatoarele de tensiune pentru tensiuni nominale de la 110 kV în sus se construiesc numai în *execuție monofazată, de exterior,* cu o singură bornă a circuitului de înaltă tensiune, izolată.

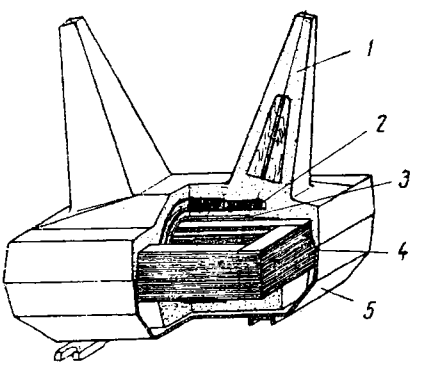


Fig. 29.9. Transformator de tensiune de interior, cu izolație din rășină de turnare, cu ambii poli izolați:

1 — izolație de rășină; *2* — înfășurare primară de înaltă tensiune; *3* — înfășurare secundară; *4* — micz magnetic; *5* — cutie metalică de protecție.

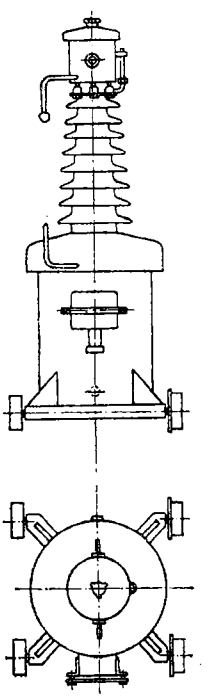


Fig. 29.10. Transformator de tensiune 110 kV tip „oală" cu izolație în ulei.

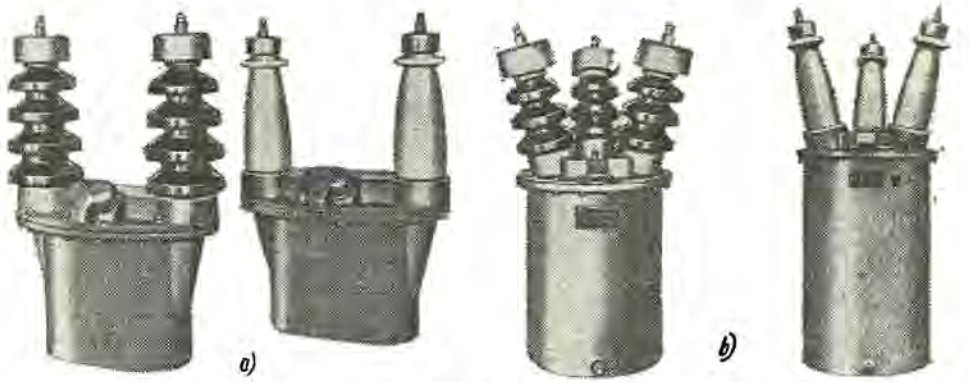


Fig. 29.11. Transformatoare de medie tensiune (15 kV), cu izolație în ulei:
a — monofazat cu doi poli izolați (de exterior și de interior); *b* — trifazat de exterior și de interior.

a. Transformatoare de tensiune inductive

Toate transformatoarele de măsură descrise, atît cele de curent cît și cele de tensiune, sînt transformatoarele de tip inductiv, funcționînd pe același principiu ca și transformatoarele de forță, adică sînt formate din înfășurări distincte, bobinate pe un miez magnetic comun, prin intermediul căruia energia este transmisă de la o înfășurare la alta.

b. Transformatoare de tensiune capacitive

În ultimii ani s-au introdus însă, îndeosebi în rețelele de foarte înaltă tensiune, transformatoare de tensiune funcționînd pe alte principii, printre care, cel mai mult utilizate în practică sînt transformatoarele de tensiune capacitive.

• Schema de funcționare a unui astfel de transformator de măsură este reprezentată în figura 29.12, **principiul de funcționare** fiind următorul:

— capacitățile legate în serie C_1 și C_2 constituie un divizor de tensiune capacitiv, tensiunea înaltă aplicată între bornele U și X repartizîndu-se pe aceste capacități invers proporțional cu valoarea lor;

— tensiunea ce revine capacității C_2, este aplicată transformatorului T și este transmisă inductiv înfășurării secundare u-x;

— oscilațiile tranzitorii de tensiune sînt amortizate de reactanța de amortizare R și de filtrul F.

Figura 29.13 ilustrează un exemplu de transformator de tensiune capacitiv.

• **Avantaje și dezavantaje.** *Avantajele* transformatoarelor de tensiune capacitive sînt următoarele:

— conductorul de înaltă tensiune poate fi folosit ca element de cuplaj pentru legături telefonice prin intermediul liniei de înaltă tensiune (se economisește capacitatea care ar fi altfel necesară în acest scop);

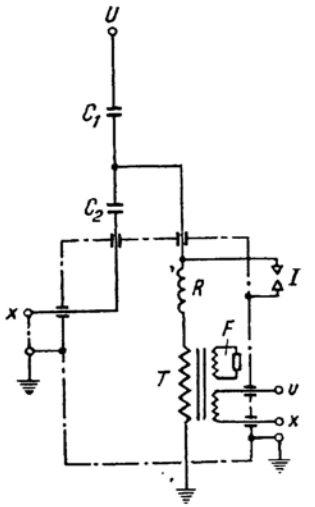


Fig. 29.12. Transformator de tensiune capacitiv — schemă de principiu:

$U - X$ — bornele circuitului de înaltă tensiune; $u - x$ — bornele înfășurării de joasă tensiune; C_1 și C_2 — capacități în serie; T — transformator; R — reactanță; F — filtru; I — eclator.

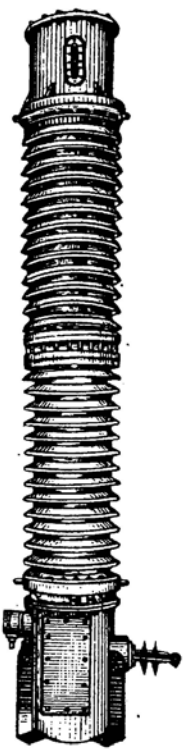


Fig. 29.13. Transformator de tensiune capacitiv de 220 kV.

— condensatorul de înaltă tensiune servește într-o anumită măsură și drept condensator de protecție împotriva undelor de tensiune de impuls, aplatisînd fruntea acestora;

— transformatoarele capacitive prezintă siguranță mai mare în exploatare, comportare foarte bună la solicitări prin tensiune de impuls, preț și greutate mai reduse ca la transformatoarele de tensiune inductive.

Transformatoarele de tensiune capacitive prezintă însă și unele *dezavantaje*, printre care:

— precizia de măsurare poate fi influențată de variațiile frecvenței rețelei și de condițiile atmosferice exterioare (ploaia, umiditatea și depunerile de impurități pe suprafața izolatoarelor în care sînt închise transformatoarele modifică capacitatea parazită dintre armături și pămînt, influențînd astfel raportul de transformare capacitiv al divizorului). Pentru a se limita aceste influențe, se iau măsuri constructive deosebite;

— sînt susceptibile la fenomenele de rezonanță, care pot provoca distrugerea transformatorului sau comenzi greșite în circuitele aparatelor alimentate;

— puterea pe care o pot debita în joasă tensiune este limitată.

Transformatoarele de tensiune capacitive se construiesc numai pentru tensiuni nominale de peste 110 kV, unde, în raport cu transformatoarele de tensiune inductive sînt mai evidente avantajele menționate mai sus.

C. TRANSFORMATOARE COMBINATE

În scopul de a reduce costul instalațiilor de foarte înaltă tensiune, au fost realizate transformatoare de măsură avînd cuprinse, *în același recipient izolant*, un transformator de curent și unul de tensiune. Costul unui transformator combinat fiind mai mic decît cel a două transformatoare (unul de curent și unul de tensiune), se realizează o reducere a prețului de cost al întregii instalații. În același timp se obține o economie de spațiu, deoarece un transformator combinat nu ocupă mai mult spațiu decît un singur transformator de curent sau de tensiune, pe care le înlocuiește.

În aceste construcții, transformatorul de curent este totdeauna de tip inductiv, transformatorul de tensiune putînd fi inductiv sau capacitiv.

Această soluție își găsește aplicație îndeosebi la tensiuni nominale de peste 110 kV.

Capitolul 30

BOBINE DE REACTANȚĂ

O soluție economică de limitare a curenților de scurtcircuit în instalațiile de distribuție de medie tensiune o constituie folosirea *bobinelor de reactanță*, numite și *reactoare*. Prezența lor mărește siguranța în funcționare a instalațiilor și permite instalarea unui echipament electric mai simplu și mai ieftin.

Sînt constituite dintr-o bobină în aer (fără miez de fier), cu rezistență activă foarte mică, pentru a limita pierderile de energie în funcționarea normală, dar cu reactanță inductivă relativ mare.

În funcționarea normală a instalației, bobina, aflată în serie cu circuitul, nu este solicitată decît în ceea ce privește izolația în raport cu piesele legate la pămînt. În caz de scurtcircuit, însă, o mare parte din tensiunea rețelei se aplică la bornele bobinei, fiind puternic solicitată și izolația între spire. În același timp, eforturile electrodinamice solicită puternic elementele de fixare mecanică a spirelor.

De aceea, bobinele de reactanță trebuie să fie izolate față de masă, corespunzător cu tensiunea lor nominală, să aibă izolația între spire suficient dimensionată și să prezinte o mare rezistență mecanică.

Practic, bobinele de reactanță de 6 și 10 kV se realizează din conductor multifilar de cupru sau de aluminiu, izolat și impregnat, formînd o bobină cilindrică cu mai multe straturi și mai multe spire pe strat. Rigidizarea bobinei și rezistența sa mecanică necesară se obțin prin turnarea bobinei în beton (fig. 30.1, *a*) sau cu ajutorul unor distanțieri din materiale electroizolante de mare rezistență mecanică (fig. 30.1, *b*).

Pentru realizarea unei bobine de reactanță trifazate, se asamblează, de obicei prin suprapunere, trei bobine (fig. 30.1), izolația între ele și față de masă fiind asigurată prin izolatoare-suport, care preiau și eforturile mecanice date de forțele electrodinamice ce apar între bobine.

Se construiesc bobine de reactanță îndeosebi pentru instalațiile de interior de medie tensiune (6—35 kV), curenți nominali cuprinși între 100 și 2 000 A și reactanțe cuprinse între 3% și 10%*.

Pentru instalațiile de exterior este necesar să se introducă bobine în ulei, ceea ce complică foarte mult construcția.

○○○ **Important de reținut.** La montarea bobinelor de reactanță trebuie avute în vedere următoarele:

• în cazul în care cele trei bobine de fază se montează suprapus, bobina corespunzătoare fazei de mijloc (fazei B) trebuie astfel montată, încît *sensul*

---

* Se definește ca *„reactanță nominală procentuală"* a unei bobine, căderea de tensiune la bornele acesteia (exprimată în procente din tensiunea sa nominală), cînd este străbătută de un curent egal cu curentul său nominal.

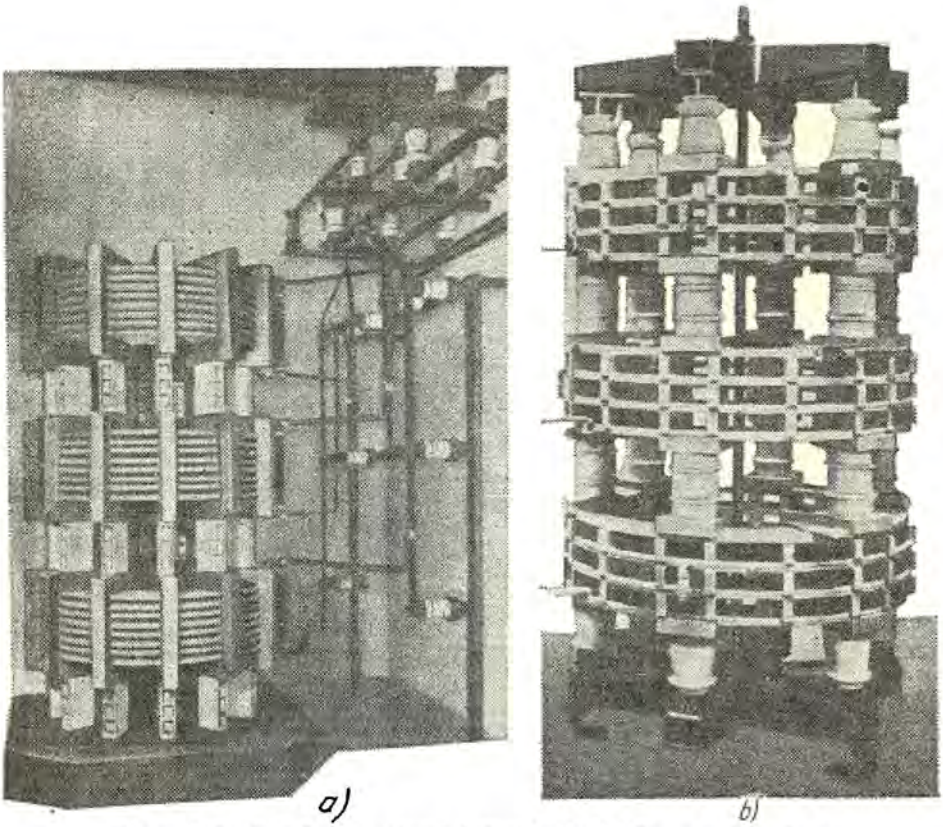


Fig. 30.1. Bobină de reactanță trifazată de 10 kV, cu izolație în aer:
a — cu schelet de beton; *b* — cu izolație uscată.

de spiralizare al conductoarelor să fie opus celui al celorlalte două faze (în caz contrar, apar solicitări electrodinamice foarte mari între bobine);

• solicitările dinamice date de curenții de scurtcircuit fiind foarte mari, este necesar *să se dea o atenție deosebită fixării bobinelor*;

• *nu este permisă plasarea în apropierea bobinelor a unor piese mari de fier*, deoarece, sub acțiunea cîmpului magnetic al bobinei, acestea se încălzesc în regim normal, creînd pierderi de energie nedorite și, la scurtcircuit, pot provoca solicitări mecanice suplimentare ale bobinei.

Capitolul 31

CELULELE DE DISTRIBUȚIE DE MEDIE TENSIUNE

Cantitatea din ce în ce mai mare de energie electrică folosită în industrie impune, pentru a se reduce pierderile de energie din transport, introducerea tensiunii înalte chiar în instalațiile de distribuție industrială. Numărul mare de asemenea posturi de distribuție, precum și cerința de a se reduce timpul necesar pentru realizarea investițiilor, au determinat o orientare nouă în modul de proiectare și execuție a posturilor de distribuție de medie tensiune. S-a renunțat la posturile de distribuție zidite, care necesitau un volum mare de muncă de proiectare și o perioadă lungă de execuție pe șantier, folosindu-se în schimb celule de distribuție tipizate, prefabricate, ceea ce simplifică munca de proiectare a instalațiilor, reduce mult timpul de realizare a instalațiilor electrice pe șantiere și determină o siguranță mai mare în exploatare.

Din punctul de vedere al soluției constructive, se deosebesc trei **categorii de celule de distribuție prefabricate**, reprezentînd și trei etape distincte de evoluție:

- *celule capsulate nedebroșabile;*
- *celule debroșabile;*
- *celule capsulate în rășini.*

● **Celulele capsulate nedebroșabile** (fig. 31.1) au evoluat din celulele deschise, fixe, folosite în centralele electrice (folosindu-se aceleași aparate și aceleași scheme), cu deosebirea că în acest caz totul este închis într-o celulă cu pereți de tablă. Prezența în celulă a unor aparate, cu gabarit mare și îndeosebi a separatoarelor, determină dimensiuni relativ mari ale acestor celule.

● Un progres important s-a realizat prin introducerea **celulelor debroșabile** (fig. 31.2 și 31.3), în care întreruptorul automat și transformatoarele de măsură sînt montate pe un cărucior prevăzut cu contacte debroșabile, prin intermediul cărora circuitul de curent al întreruptorului este conectat la bare. În felul acesta se obțin următoarele avantaje:

— se poate elimina separatorul, obținîndu-se nu numai o importantă economie de spațiu, dar și o siguranță mărită în exploatarea celulelor (separatorul constituie principala sursă de avarii), funcția separatorului fiind preluată de retragerea căruciorului din contactele debroșabile; operația nu se poate executa decît cu întreruptorul deschis;

— în poziția căruciorului retras, constantele circuitelor secundare rămîn încă conectate, ceea ce permite verificarea funcționării circuitelor de măsurare și control, fără prezența tensiunii înalte;

— în caz de defectare a unui aparat sau pentru revizii, nu este necesar să se scoată de sub tensiune întreaga instalație, ci este suficient să se înlocuiască căruciorul respectiv cu un altul gata echipat ținut ca rezervă.

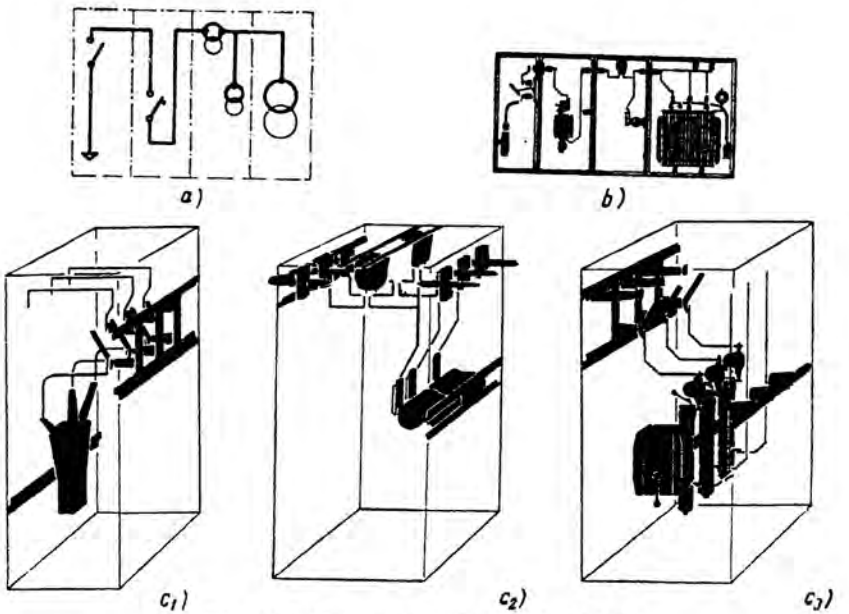


Fig. 31.1. Celule capsulate nedebroşabile:

a — schemă electrică; *b* — reprezentare figurată a aceleiaşi instalaţii; *c* — reprezentarea simplificată a unor celule reprezentative (c_1 — celulă de plecare în cablu; c_2 — celulă de măsură; c_3 — celulă de întreruptor).

● **Celulele capsulate în răşini.** Introducerea transformatoarelor de măsură izolate cu răşini de turnare şi a întreruptoarelor cu ulei puţin, tip „coloană", a permis realizarea unor reduceri importante în gabaritele acestor celule, ceea ce a contribuit mult la extinderea folosirii lor. Celulele debroşabile sînt în prezent celulele cele mai utilizate.

Necesitatea de a se mări puterea instalată a unor posturi de distribuţie existente, a impus găsirea unor soluţii care să reducă şi mai mult spaţiul

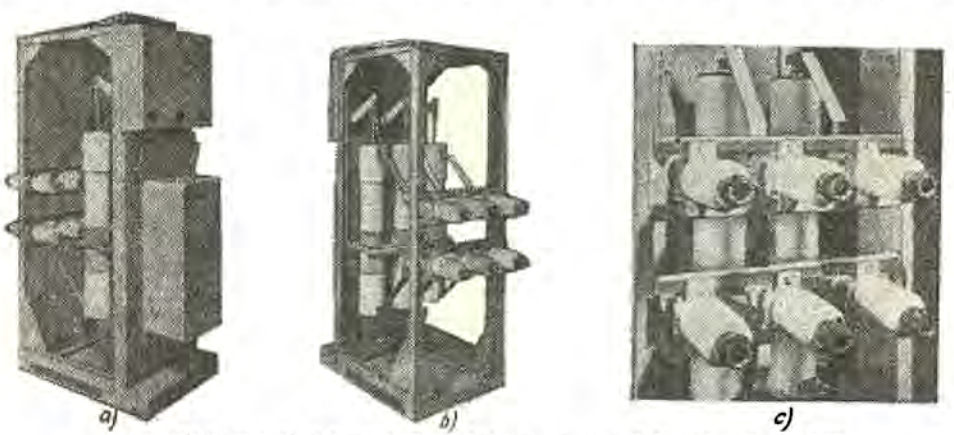


Fig. 31.2. Celulă debroşabilă cu întreruptor cu ulei puţin, de 20 kV:

a — vedere generală; *b* — aceeaşi celulă văzută din spate; *c* — contactele debroşabile (detaliu).

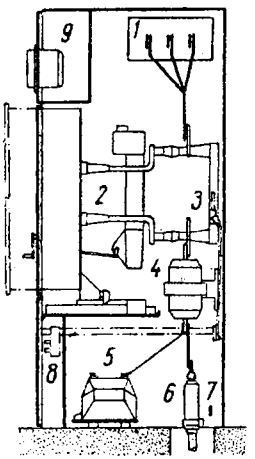


Fig. 31.3. Celulă prefabricată debroșabilă de 10 kV — 1 250 A:

1 — bare colectoare; *2* — întreruptor cu ulei puțin; *3* — separator de punere la pămînt; *4* — transformator de curent; *5* — transformator de tensiune; *6* — cutie terminală de cablu; *7* — bară de legare la masă; *8* — cutie pentru cleme de joasă tensiune; *9* — compartimentul aparatelor de măsurat.

necesar celulelor de distribuție și îndeosebi lățimea acestora, astfel încît, într-un spațiu existent, să se poată amplasa un număr mai mare de celule. Această condiție a fost satisfăcută prin realizarea *celulelor capsulate în rășini*. La acest tip de celule, care se execută tot pe principiul celulelor debroșabile, toate aparatele, inclusiv întreruptorul, au o construcție specială, fiind complet îmbrăcate în piese izolante din rășini de turnare; astfel, nici o piesă metalică aflată sub tensiune nu este vizibilă sau accesibilă.

Întrucît în construcția acestor celule trebuie folosite numai aparate special concepute, soluția este foarte scumpă și interesantă numai pentru situații în care lipsa de spațiu este hotărîtoare.

Capitolul 32

TENDINȚE PRIVIND EVOLUȚIA ÎN URMĂTORII ANI, ALE FABRICAȚIEI APARATAJULUI ELECTRIC

● A. MĂSURI PRIVIND CREȘTEREA ECONOMICITĂȚII ȘI SIGURANȚEI ÎN FUNCȚIONARE ● B. EVOLUȚIA APARATELOR ELECTRICE

Prin specificul său, fabricația aparatajului electric reprezintă un domeniu în continuă schimbare, unde în permanență apar:

— domenii noi de utilizare;

— soluții noi pentru rezolvarea unei aplicații cunoscute;

— aparate noi sau substanțial îmbunătățite fie prin optimizarea construcției, fie prin utilizarea unor materiale noi cu proprietăți superioare.

A. MĂSURI PRIVIND CREȘTEREA ECONOMICITĂȚII ȘI SIGURANȚEI ÎN FUNCȚIONARE

● Pentru realizarea unor aparate mai sigure în exploatare și mai economice, un rol important îl va juca **mărirea seriilor de fabricație prin reducerea substanțială a tipo-variantelor**, această tipizare mai accentuată urmărind a se obține în primul rînd prin *reducerea numărului de tensiuni nominale folosite într-o anumită țară.*

Este sigur că în următorii ani va continua acțiunea de restrîngere și unificare a tensiunilor nominale, astfel încît:

— *în domeniul joasei tensiuni* ca tensiune de utilizare va exista o singură tensiune nominală (380/220 V)*;

— *în domeniul mediei tensiuni* ca tensiune de distribuție va exista o singură tensiune nominală (20 kV), continuînd să se folosească tensiunea de 6 sau 10 kV ca tensiune de alimentare a motoarelor mari din instalațiile industriale;

— *în domeniul tensiunilor foarte înalte,* tensiunea de 110 kV să devină mai mult o tensiune de distribuție, în centrele mari industriale și urbane, pierzîndu-și mult din rolul de tensiune de transport la mari distanțe a energiei elec-

* Tensiunea de 660 V își va menține un domeniu de utilizare *restrîns*, îndeosebi în anumite categorii de utilizări industriale: mine, exploatări petroliere, alimentarea unor motoare mari în industria chimică.

trice, rol pe care îl va prelua îndeosebi tensiunea de 400 kV şi mai puţin cea de 220 kV.

Tensiunile de 750 şi peste 1 000 kV se vor dezvolta îndeosebi cu rol de interconexiune a sistemelor de energie naţionale.

Această evoluţie va determina *o reducere importantă a sortimentului de aparate în fabricaţie*, uşurînd însă şi problema stocurilor de piese şi aparate de schimb în exploatare.

● Se generalizează soluţia de **realizare din elemente tipizate** a întreruptoarelor automate de foarte înaltă tensiune, extinzîndu-se şi la alte aparate (separatoare, descărcătoare, transformatoare de măsură).

În domeniul tensiunilor medii, se va extinde mult realizarea din elemente tipizate prefabricate a posturilor de comandă, a staţiilor de transformare şi îndeosebi a posturilor de distribuţie industriale, astfel încît să se reducă la minimum activitatea de instalaţii electrice pe şantiere. Se obţine în felul acesta o scurtare importantă a termenelor de realizare a investiţiilor industriale, începînd de la proiectarea acestora şi terminînd cu controlul instalaţiilor executate.

B. EVOLUŢIA APARATELOR ELECTRICE

1. APARATE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

În domeniul aparatajului electric de joasă tensiune:

— se vor dezvolta mai departe contactoarele electrice în aer, cu mişcare de translaţie, în dauna celor în ulei şi a celor în aer cu mişcare de rotaţie;

— în schimb, în domeniul curenţilor nominali mici (6 ... 25 A), contactoarele vor fi parţial înlocuite de tiristoare comandate (triacuri) şi cu alte sisteme de comutaţie fără contacte, care se vor introduce mai întîi în domeniul releelor intermediare şi al contactoarelor pentru curenţi mici (6 ... 15 A), extinzîndu-se apoi şi la intensităţi mai mari. Pe baza tiristoarelor şi a altor tipuri de redresoare cu siliciu comandate, se va dezvolta un domeniu nou, al „electronicii curenţilor tari", care va acoperi mai întîi domeniile de acţionare şi automatizare, îndeosebi acţionări cu viteze variabile, înlocuind metodele actuale de reglaj prin înserare de rezistenţe.

În domeniul releelor, al contactoarelor în special şi al aparatelor de joasă tensiune în general, va continua acţiunea de miniaturizare, favorizată de:

— cunoaşterea mai bună a fenomenelor de contact şi de întrerupere a arcului electric;

— folosirea de materiale superioare;

— introducerea componentelor electronice în construcţia aparatelor de joasă tensiune.

Miniaturizarea, prin studiul mai atent al soluţiilor tehnice şi prin utilizarea unor materiale noi, va reprezenta soluţia cea mai sigură pentru rezolvarea problemelor serioase care se pun în prezent în legătură cu economisirea de materiale şi de energie.

2. APARATE ELECTRICE DE TENSIUNE MEDIE

În domeniul tensiunilor medii:

— se va reduce mult folosirea separatoarelor, care vor fi înlocuite în mare măsură de separatoare de sarcină sau de celule debroşabile fără separator;

— se va generaliza tensiunea de 20 kV ca singură tensiune de distribuţie de interior, renunţîndu-se treptat la instalaţii de 20 kV de exterior;

— va creşte mult ponderea întreruptoarelor cu ulei puţin cu cameră de stingere izolată, dar se vor folosi, pentru condiţii grele de utilizare în reţele de 6 kV (frecvenţe mari de conectare, utilizare în mine sau medii explozive) şi întreruptoare în vid sau izolate în hexafluorură de sulf;

— se va generaliza folosirea siguranţelor fuzibile cu stingere în nisip.

3. APARATE ELECTRICE DE FOARTE ÎNALTĂ TENSIUNE

În domeniul tensiunilor foarte înalte:

— vor continua să coexiste întreruptoare cu ulei puţin, întreruptoare cu aer comprimat şi întreruptoare cu hexafluorură de sulf, tendinţa fiind ca ultimele să cîştige teren sub forma de staţii de distribuţie capsulate, utilizate în centre urbane, zone industriale şi zone cu un grad avansat de poluare atmosferică;

— este posibil să apară tipuri noi de transformatoare de măsură bazate pe principii noi de funcţionare.

În domeniul tehnologiei de fabricaţie a aparatelor, cele mai mari progrese se vor face prin organizarea unor fabrici şi linii de fabricaţie specializate, de mare productivitate şi asigurînd un grad mai avansat de uniformitate a calităţii şi fiabilităţii produselor.

○○○ În ultimii ani s-a dezbătut şi se dezbate foarte mult problema „crizei energetice" evidenţiată de faptul că omenirea a devenit conştientă că resursele energetice şi de materiale ale globului sînt limitate şi trebuie gospodărite cu grijă.

Trebuie reţinut însă faptul că *„criza energetică" nu înseamnă şi o criză a energiei electrice!* Dimpotrivă, **energia electrică reprezintă forma cea mai economică, cea mai curată şi cea mai susceptibilă de progres.**

De aceea, aparatajul electric, ca mijlocitor între producătorii şi consumatorii de energie electrică, rămîne şi mai departe un element în dezvoltare şi un element de progres.

RĂSPUNSURI

Capitolul 1

Din lista enumerată, reprezintă *aparate electrice* numai noțiunile din dreptul numerelor cu soț (pare).

● *Precizări suplimentare:*

— Izolatoarele de trecere și conductoarele sînt: *„materiale electrotehnice"*.

— Redresoarele sînt *consumatori* de energie sub formă de curent alternativ și surse de energie sub formă de curent continuu; ele *transformă* numai energia electrică dintr-o formă și alta.

— Electromagneții sînt consumatori de energie electrică pe care o transformă în energie mecanică.

— Izolatoarele de trecere, redresoarele și electromagneții se pot întîlni cu *elemente componente* ale unor aparate electrice.

Capitolul 2

La aparatele de comutare *manuală*, atît închiderea cît și deschiderea aparatului nu se pot face *decît voit, prin acțiunea directă a unui operator*, în timp ce la aparatele de conectare automate, fie închiderea, fie deschiderea, fie ambele operații se pot executa *și automat*, deci independent de prezența unui operator, prin comanda dată de un releu sau alt aparat similar, aflat în componența aparatului sau în afara acestuia.

Capitolul 3

1. Se numește „străpungere" formarea unui canal conducător de electricitate prin interiorul unui izolant oarecare (solid, lichid sau gazos).

Se numește „conturnare", formarea unui canal conducător de electricitate pe suprafața unui izolant solid, aflat într-un mediu gazos.

Observații:

• Conturnarea este de obicei un proces lent, favorizat de starea necorespunzătoare a suprafeței izolantului solid.

• Apariția unei descărcări electrice la suprafața de separație dintre un izolant lichid și unul gazos, constituie o străpungere a izolantului gazos; în mod analog, apariția unei descărcări la suprafața de separație dintre un izolant solid și un izolant lichid în care este scufundat, constituie o străpungere a izolantului lichid.

2. Factorii care favorizează străpungerea unui izolant solid sînt:

— mărimea, durata și frecvența tensiunii aplicate;

— forma electrozilor;

— starea suprafeței izolantului;

— temperatura.

(explicați modul în care acționează fizic, fiecare dintre acești factori).

3. Mediile care se întîlnesc în practică, și sînt diferite de condițiile normale de mediu, sînt următoarele:

— regiunile cu *climat tropical* (umed sau de pustiu), polar, alpin, marin;

— încăperile cu *umiditate anormală* (băi, vopsitorii, pivnițe, grajduri, crescătorii de păsări, instalații tehnologice care produc abur, instalații frigotehnice);

— *atmosferă industrială* cu mult praf, gaze inflamabile sau explozive.

4. Vezi capitolul 3 E, ultimul alineat.

5. Măsurile care se iau pentru realizarea aparatelor destinate să funcționeze în „climat marin" sînt:

— alegerea izolanților (rezistenți la umiditate și mediu salin);
— folosirea izolatoarelor cu linie de conturnare mărită;
— măsuri speciale de protecție împotriva coroziunilor;
— folosirea de metale și aliaje rezistente la aer salin (bronz, silumin).

Capitolul 4

1. Solicitările la care sînt supuse aparatele electrice, în condiții normale de exploatare, sînt:

— solicitări electrice (de străpungere sau conturnare);
— solicitări termice, cauzate de încălziri ale căilor de curent, de arcul electric de întrerupere sau de mediul exterior;
— solicitări mecanice, cauzate de forțe electrodinamice sau de agenți exteriori;
— solicitări de uzură, prin funcționarea îndelungată;
— solicitări combinate (chimice-fizice-mecanice) provocate de acțiunea mediului în care lucrează aparatul.

2. Temperaturi mai ridicate decît cele prevăzute în mod normal în funcționarea aparatelor, pot provoca:

— străpungeri ale izolanților;
— alterarea proprietăților mecanice, chiar a pieselor metalice și a resoartelor;
— oxidarea contactelor;
— incendii și explozii

(dați exemplificări detaliate).

3. Condițiile atmosferice „normale" sînt definite prin următorii parametri:

— presiune atmosferică 760 Torr;
— temperatură medie zilnică 20°C, iar maximă 40°C;
— altitudine pînă la 1 000 m;
— atmosferă lipsită de praf și substanțe corozive.

4. Vezi capitolul 4 (extrage și sistematizează noțiunile principale).

Capitolul 5

1. Temperatura pe care o atinge, în funcționare de regim, un aparat electric este determinată de următorii factori:

— densitatea de curent în conductoare;
— rezistența specifică a conductoarelor;
— condițiile de răcire;
— temperatura mediului ambiant [vezi relațiile (5.7) și (5.8)].

2. 40°C.

Observație. Se consideră că aceasta este cea mai mare temperatură care poate să apară, cel puțin o oră, în zilele cele mai calde de vară.

3. Vezi exemplele de la sfîrșitul capitolului 5.A.

Capitolul 7

1. Vezi tabela 7.1.

2. Folosind:

— rotoarele speciale cu crestătură înaltă sau în dublă colivie;
— aparate de pornire care reduc tensiunea aplicată la bornele motorului (comutatoare stea-triunghi, transformatoare de pornire);
— motoare asincrone cu inele.

3. Arderea motorului la punerea sub tensiune.

4. Curentul de scurtcircuit de vîrf de șoc este o mărime specifică rețelei (instalației electrice) și exprimă valoarea de vîrf cea mai mare care poate să apară într-un anumit punct al rețelei, în caz de scurtcircuit.

Curentul limită dinamic este o mărime specifică aparatelor electrice și exprimă aptitudinea (capacitatea) acestora de a suporta solicitările electrodinamice date de curenții de scurtcircuit pînă la o anumită valoare.

În alegerea aparatelor trebuie să se aibă grijă ca: curentul limită dinamic al aparatului respectiv să fie mai mare decît curentul de scurtcircuit de șoc al rețelei în locul de montare al aparatului.

Capitolul 9

1. Conductoarele electrice pot fi îmbinate între ele, în scopul asigurării continuității circuitului electric, printr-unul din următoarele procedee (metode):

— sudură
— lipire
— nituire
} acestea reprezentînd îmbinări permanente, nedemontabile

— cu șuruburi — îmbinare permanentă demontabilă
— prin apăsare

Ultimele două tipuri de îmbinări se numesc îmbinări de contact.

2. În contactele electrice, îmbinarea pieselor de contact realizîndu-se prin simplă apăsare, între două suprafețe care nu sînt curate ci mai au impurități și oxizi, zonele prin care curentul electric poate să circule de la o piesă de contact la cealaltă — zonele de contact metalic — sînt mult mai mici decît suprafața aparentă de contact. Se produce astfel o strangulare a liniilor de curent, ca și cum, în zona de contact, conductorul ar fi mult mai îngust, avînd deci în această zonă o rezistență mai mare decît restul circuitului (vezi și capitolul 10. B și C).

3. Vezi capitolul 10. E.

4. Cuprul — cel mai folosit drept contact de lucru la intensități mari.
— Argintul—cel mai bun metal pentru contacte permanente.

Prin asocierea acestor metale între ele, sau cu alte metale (cu metale nobile sau metale dure) folosindu-se procedee de aliere, galvanizare, placare sau sinterizare, se obțin contacte cu proprietăți adaptate diferitelor utilizări.

5. Contactele sinterizate sînt piese de contact realizate prin amestecul unui metal de contact cu o a doua componentă cu care în mod normal nu se aliază. Această a doua componentă poate fi: un alt metal cu punct de topire foarte ridicat (de ex. wolfram), un oxid metalic sau un metaloid (grafitul).

Amestecul celor două componente se poate obține prin:
— amestecul celor două componente sub formă de pulberi și presarea acestora la temperaturi ridicate, dar inferioare punctului de topire al oricăreia din componente (sinterizare fără fază fluidă);
— amestecul celor două componente sub formă de pulberi și presarea la o temperatură superioară punctului de topire al uneia din componente („sinterizare cu fază fluidă");
— presarea pulberii componentei cu punct mai ridicat de topire sub forma unei structuri buretoase, care este umplută apoi la celălalt metal în stare topită („sinterizare prin înmuiere");
— realizarea unui aliaj dintre două metale și oxidarea ulterioară, la cuptor, a uneia din ele („sinterizarea prin oxidare internă").

6. Contactele bimetalice sînt contacte de lucru pentru intensități medii, formate dintr-un metal nobil — de obicei argint-aplicat numai în zona de contact efectiv pe un suport din material conductor (de obicei cupru sau aliaje de cupru).

Aplicarea benzii de argint pe suportul de cupru se face prin sudură urmată de laminare.

7. Vezi capitolul 10 G.

Capitolul 10

1. Porțelan tare:	pentru izolatoare de înaltă tensiune și izolatcare de joasă tensiune realizate prin strunjire
Porțelan presat:	pentru piese izolante de joasă tensiune cu solicitări electrice și mecanice reduse
Steatitul:	pentru piesele izolante de joasă tensiune cu dimensiuni exacte și solicitate mai greu termic și mecanic
Termoceramitul:	pentru piese izolante de joasă tensiune supuse unor solicitări termice ridicate (solicitări mecanice reduse).

Materiale ceramice aluminoase: pentru izolatoare de înaltă tensiune supuse unor solicitări mecanice mari.

(pentru completare răspunsuri, vezi cap. 11 B).

2. Presarea pastei, modelarea, uscarea, glazurarea, arderea, șlefuirea, metalizarea, armarea (ultimele trei operații se efectuează numai la anumite tipuri de izolatoare).

3. Strunjirea: izolatoare cu profil de revoluție, îndeosebi izolatoare suport și carcase de înaltă tensiune.

Discuirea: izolatoare mari care se realizează din mai multe bucăți și nu se pot obține prin strunjire (carcase conice).

Presarea: piese izolante de joasă tensiune cu forme ce nu se pot obține prin strunjire.

Turnarea: piese izolante cu forme complicate și cu goluri în interior, care nu se pot obține nici prin presare.

4. Armarea prin chit sau ciment (nedemontabilă);
— cu ciment Portland;
— cu ciment de sulf;
— cu litargă;
— cu rășini de turnare;
— cu plumb.

Armare mecanică (demontabilă).

5. Izolatoare din porțelan:
— rezistența mare la intemperii și la acțiunea arcului electric;
— se pot realiza în orice forme;
— ciclu de fabricație lung.

Corespund atît instalațiilor de interior, cît și celor de exterior, utilizîndu-se pretutindeni acolo unde nu s-au găsit alte soluții mai ieftine.

Izolatoare din sticlă:
— rezistența mecanică și electrică foarte bună și comportare satisfăcătoare la agenții climatici;
— se obțin la costuri mai reduse decît cele de porțelan dacă se pot executa prin presare în serii foarte mari.
— în caz de fisurare a izolatorului, partea externă armăturii se distruge complet, defectul putîndu-se astfel identifica ușor.

Se introduc din ce în ce mai mult ca izolatoare pentru liniile aeriene și, în anumită măsură, ca izolatoare suport pentru stații (tip „multicon").

Izolatoarele din rășini de turnare:
— se pot realiza în forme complicate, cu un ciclu tehnologic mai scurt decît la porțelan;
— în procesul de turnare se pot îngloba și armăturile metalice, obținîndu-se izolatoare de dimensiuni mai reduse ca a celor de porțelan, dar
— au o rezistență redusă la radiații, la intemperii și la arcul electric.

Se utilizează din ce în ce mai mult în instalațiile electrice de interior.

Capitolul 11

1. Termobimetalele sînt formate din două componente (două aliaje pe bază de fier, cu coeficient de dilatare diferit, îmbinate intim prin sudare și laminare). Ele se numesc:
— *componenta activă* — cu coeficient mare de dilatare;
— *componenta pasivă* (aliaj numit „invar") cu coeficient foarte mic de dilatare.

Sub efectul căldurii, componenta activă tinde să se dilate mult mai mult decît componenta pasivă, rezultînd astfel o încovoiere a lamelei de bimetal.

2. În construirea aparatelor electrice se folosesc două căi de încălzire a unui termobimetal:
— *încălzirea „directă"*, bimetalul fiind parcurs de curentul electric care străbate instalația protejată, sau de un curent proporțional cu acesta;
— *încălzirea „indirectă"* prin conductibilitate sau prin radiație, de la o sursă de căldură parcursă de curentul electric care străbate instalația protejată.

Termobimetalele care servesc drept element de „compensare termică a temperaturii mediului" (a se vedea capitolul „relee de protecție") precum și termobimetalele folosite în unele aparate de reglare, utilizează o a treia cale de încălzire și anume: *transmiterea de căldură* de la mediul înconjurător.

3. Vezi subcapitolul 10 E.

Capitolul 12

1. La electromagneții de curent alternativ, miezul magnetic este format din pachete de tole din tablă silicioasă, ștanțate în formă de E sau U și asamblate cu nituri sau cu capse.

Forma cea mai obișnuită a armăturilor este în dublu E, bobinele fiind situate pe brațul central la electromagneții monofazați și pe toate trei brațele la electromagneții trifazați.

Alte forme, de asemenea utilizate, sînt:

— tipul „clopot", cu miez în formă de U și bobină pe una din laturi;

— tip „U" cu miez în formă de U și bobină pe ambele laturi;

— tip „manta", cu armătura mobilă în formă de I și armătura fixă în formă de U închis.

2. Ștanțarea, debavurarea, izolarea cu lac, asamblarea, fixarea spirei în scurtcircuit, vopsirea sau acoperirea anticorozivă, rectificarea suprafețelor de lucru, asamblarea, verificarea electrică și la zgomot.

3. Rolul spirei în scurtcircuit este de a aplatisa curba de variație a forței de atracție a electromagneților monofazați de curent alternativ în scopul:

de a evita desprinderea armăturii mobile la trecerea fluxului magnetic prin zero;

de a reduce zgomotul provocat de variația periodică a forței de atracție.

4. În timpul funcționării electromagneților, se fac următoarele verificări:

— închiderea promptă și fără ezitări a armăturii mobile (deplasarea armăturii fără frînări sau blocări pe parcurs);

— nivelul vibrațiilor și al zgomotului în situația armăturii închise;

— starea suprafeței armăturilor (lipsa coroziunilor);

— frecvența de conectare (trebuie să fie sub cea nominală);

— tensiunea aplicată (să nu se abată cu mai mult de ± 5% de cea nominală a bobinei electromagnetului).

Capitolul 13

1. Vezi capitolul 13 A.

2. Vezi capitolul 13 C.

3. Se verifică:

aspectul și temperatura plăcilor;

temperatura mediului și poziția față de sursele de căldură;

lipsa prafului sau a altor depuneri pe plăci.

Capitolul 14

1. Aliaje de cupru (tombac, bronz cu beriliu), pentru piese de contact cu arcuire proprie.

Oțel arc, pentru acționarea unor mecanisme, asigurarea presiunii în contacte, acumularea de energie mecanică la dispozitivele de acționare cu resort.

Cauciuc, pentru amortizarea mișcării pieselor mobile ale mecanismelor.

2. Lamelare, spirale, elicoidale, disc.

3. Resoartele elicoidale de compresie au numeroase utilizări în construcția aparatelor electrice, fiind preferate resoartelor disc, îndeosebi în situațiile în care:

— spațiul disponibil este redus;

— eforturile necesare sînt mici (cîteva sute de grame pînă la cîteva kilograme);

— se cer raporturile de comprimare (curse) relativ mari.

Capitolul 15

1. Factorii care influențează căderea de tensiune în arcul electric sînt:

— căderea de tensiune în vecinătatea electrozilor, determinată de materialul din care sînt confecționați electrozii, de temperatura și starea suprafeței acestora;

— căderea de tensiune specifică în coloana de arc, influențată de natura gazului și condițiile de răcire ale coloanei de arc;

— lungimea arcului, determinată de distanța dintre contacte și eficacitatea sistemului de suflaj magnetic.

Valoarea curentului în coloana de arc, hotărîtă de tensiunea aplicată și de valoarea impedanțelor din circuit, inclusiv arcul electric.

2. Căile prin care se obține creșterea căderii de tensiune în arcul electric de joasă tensiune, sînt:

folosirea a două întreruperi de pol;
suflajul magnetic continuat cu răcirea prin pereți înguști;
folosirea camerelor de stingere cu grătar de deionizare.

3. Rolul plăcuțelor de deionizare este:
de a atrage magnetic arcul electric în camere de stingere;
de a diviza arcul electric multiplicînd astfel valoarea căderii de tensiune catodice;
de a răci prin contact direct arcurile elementare;
de a deplasa rapid, prin suflaj magnetic, arcurile elementare favorizînd răcirea și stingerea lor.

Capitolul 17

1. Conectarea în stea a unui motor bobinat să funcționeze în triunghi, determină:
— reducerea cu 1,73 ori a tensiunii aplicate fiecărei faze a motorului;
— reducerea la o treime a curentului absorbit de la rețea în timpul pornirii;
— reducerea la o treime a cuplului de pornire de care este capabil motorul.

2. Conectarea în stea-triunghi la pornirea unui motor electric asincron cu rotorul în scurtcircuit:

— este necesară cînd puterea motorului este relativ mare în raport cu puterea rețelei și apar în timpul pornirii căderi de tensiune care deranjează ceilalți consumatori conectați la rețea;

— este posibilă cînd:

a) motorul — este bobinat să funcționeze în triunghi la tensiunea rețelei;
— are cele 6 capete ale celor 3 faze ale bobinajului, scoase la o placă pe borne;

b) sarcina antrenată permite o pornire cu cuplu de pornire mic.

3. (pentru mai multă claritate a figurilor se recomandă ca fiecare situație de conectare să fie reprezentată pe un desen separat).

Capitolul 18

1. Deosebiri între contactoare, contactoare asociate în relee și întreruptoare automate:
a) deosebiri constructive:

La contactoare și contactoarele cu relee, menținerea contactorului în poziția „închis" se asigură cu un electromagnet, în timp ce la întreruptoarele automate acest lucru este asigurat de un „zăvor" mecanic (chiar dacă închiderea întreruptoarelor automate se face cu ajutorul unui electromagnet, acesta este dimensionat pentru o solicitare de foarte scurtă durată și este, în consecință, relativ mult mai mic).

În ceea ce privește complexitatea:

— contactoarele sînt cele mai simple fiind alcătuite practic numai din electromagnet și sistemul de contacte;

— contactoarele cu relee sînt mai complexe, adăugîndu-se blocul cu relee termice și relee electromagnetice;

— întreruptoarele automate sînt cele mai complexe, îndeosebi prin adăugarea sistemului de zăvorîre și a celui de declanșare.

b) deosebiri funcționale:

frecvența de conectare:

— foarte mare la contactoarele în aer (600—3000 conectări/oră),

— medie la contactoarele cu relee (40...60 conectări/oră),

— foarte mică la întreruptoarele automate (cîteva conectări pe zi).

durata de viață (exprimată în număr de cicluri):

— foarte mare la contactoare și contactoare cu relee (milicane de conectări).

— mică la întreruptoarele automate (zeci de mii de conectări).

puterea de rupere:

— redusă (6...8I_n) la contactoare și contactoare cu relee;

— foarte mare la întreruptoarele automate (5...25 kA).

comportarea la șocuri și vibrații:

— slabă la contactoare și contactoare cu relee;

— foarte bună la întreruptoare automate.

comportarea la variații ale tensiunii alimentare:

— nesigură la contactoare și contactoarele cu relee;

— foarte sigură la întreruptoare automate.

protecția pe care o asigură:

— contactoarele asigură numai protecția la căderea sau lipsa tensiunii de alimentare dar nici o protecție la suprasarcină sau scurtcircuite;

— contactoarele cu relee asigură protecția la scăderea tensiunii de alimentare și la suprasarcină, dar nu și la scurtcircuite;

— întreruptoarele automate asigură protecția la suprasarcină și scurtcircuite iar protecția la cădere de tensiune numai dacă sînt prevăzute cu un releu special în acest scop.

c) utilizare:

— contactoarele servesc îndeosebi pentru comanda închiderii și deschiderii circuitelor de acționare și automatizare.

— contactoarele cu relee sînt cel mai bine adaptate pentru comanda și protecția motoarelor electrice;

— întreruptoarele automate servesc îndeosebi pentru protecția rețelelor de distribuție și pentru comanda și protecția unor consumatori la care trebuie evitată întreruperea alimentării în cazul unor oscilații ale tensiunii de alimentare.

Utilizarea contactoarelor în ulei.

a) este necesară atunci cînd mediul în care lucrează aparatul conține:

— cantități mari de praf (instalații de preparare cărbune, fabrici de ciment, mori);

— atmosferă chimic corosivă (instalații din industria chimică, centrale arzînd combustibili inferiori, climat marin);

— gaze explozive (instalații miniere);

— abur și umezeală în mare cantitate (spălătorii, instalații frigorifice).

b) este posibilă atunci cînd puterea de rupere și îndeosebi frecvența de conectare necesare nu sînt mari (pînă la 40 conectări/oră).

Capitolul 19

1. Măsurile care se iau de întreprinderile producătoare de aparate electrice pentru a se evita accidente prin manipularea greșită a butoanelor și cheilor de comandă sînt:

marcarea butoanelor

— prin culori (roșu—închidere; verde—deschidere)

— prin litere (I — închidere; O — deschidere)

Cheile de comandă folosesc marcarea prin litere și inscripții.

protejarea împotriva acționării involuntare:

— butoanele de punere sub tensiune (de închidere a circuitului) se execută „îngropat";
— cheile de comandă sînt prevăzute cu gulere de protecție.

zăvorîrea prin broaște și chei, a butoanelor și cheilor de comandă care pot fi acționate numai de anumite persoane.

2. Microîntreruptoarele se deosebesc constructiv prin modul în care este realizat mecanismul de sacadare. Dintre acestea, mai reprezentative sînt:

— cu lamelă elastică în „T";
— cu lamelă elastică în „arc de cerc";
— cu resort elicoidal.

Capitolul 20

1. *Avantaje*:

— construcție simplă (și preț redus);
— putere mare de rupere;
— limitare a valorii curenților de scurtcircuit deci reducere a solicitărilor electrodinamice și termice la care este supusă instalația.

Dezavantaje:

— arderea siguranței fuzibile reprezintă o întrerupere a funcționării instalației și înlocuirea necesită timp de ordinul a 1/2 oră;

— funcționarea este monofazată creîndu-se, la suprasarcini mici, pericolul funcționării „în două faze", ceea ce creează pericolul de ardere a motoarelor electrice;

— încălziri mari în funcționare normală, cu pericole de incendii la suprasarcini îndelungate și exploatare necorespunzătoare;

— nu pot fi reglate în exploatare;
— protecție nesigură la suprasarcini;
— în caz de exploatare necorespunzătoare pot provoca accidente.

2. Vezi capitolul 20—B.

3. Siguranțele fuzibile „inerte" sînt siguranțe fuzibile cu filet sau, mai frecvent, siguranțe cu mare putere de rupere la care prin măsuri constructive se realizează o caracteristică de topire de formă specială, astfel încît:

— la scurtcircuite siguranța să funcționeze ca o siguranță fuzibilă rapidă;
— la supraintensități relativ mari, dar de scurtă durată, siguranța să nu funcționeze;
— la supraintensități mici, dar de lungă durată, să funcționeze practic în același timp cu o siguranță rapidă și cu încălziri mai mici la borne.

4. Măsurile de siguranță care se iau în exploatare pentru a se evita accidente provocate de siguranțele fuzibile sînt:

— folosirea numai a patroanelor prescrise și evitarea unor reparații improvizate;
— strîngerea corectă a șuruburilor de contact la borne și verificarea periodică a aspectului acestora;
— evitarea prezenței unor pulberi, scame sau materiale ușor inflamabile în vecinătatea siguranțelor fuzibile;
— montarea și demontarea siguranțelor fuzibile se face numai după ce s-a scos de sub tensiune circuitul respectiv și numai folosind mănuși de protecție.

Capitolul 23

1. Mediul exterior poate exercita asupra aparatelor electrice influențe defavorabile prin acțiunea următorilor factori:

— umiditatea mare, care alterează proprietățile electroizolante ale izolanților organici și favorizează procesele de coroziune a metalelor;
— depunerile de praf, care înrăutățesc funcționarea contactelor, pot determina uzuri exagerate sau blocări ale mecanismelor și înrăutățesc condițiile de răcire ale aparatelor, depu-

nerile de praf, combinate cu o umiditate mare, favorizează conturnarea izolanților (chiar și a celor ceramici).

— atmosfera chimic corozivă, care atacă suprafețele metalice și materialele electroizolante:

— condiții de exploatare dură (lovituri, șocuri, vibrații), care pot provoca dereglări ale mecanismelor, deteriorarea unor elemente și funcționarea incorectă a aparatelor.

2. Principalii factori prin care aparatele electrice pot constitui un pericol pentru personalul de deservire și pentru mediul înconjurător, sînt:

— prezența tensiunii în circuitele electrice, care constituie un pericol permanent de electrocutare.

— temperatura căilor de curent și a contactelor, care pot aprinde pulberi și substanțe inflamabile.

— arcul electric de întrerupere, a cărui temperatură poate provoca explozii prin aprinderea unor amestecuri de gaze.

3. Aparatele în construcție antiexplozivă rezistente la explozie sînt aparate astfel construite încît pot funcționa într-un mediu în care există permanent sau poate să apară în mod accidental un amestec de gaze explozive.

Dacă, în timpul funcționării aparatului se produce, în interiorul carcasei care protejează aparatul, în mod normal un arc electric de întrerupere sau în mod accidental un scurtcircuit sau încălziri exagerate, gazele explozive care au pătruns în interiorul carcasei de protecție se aprind dar nu pot transmite explozia și la mediul exterior deoarece interstițiile foarte înguste dintre piesele de îmbinare permit trecerea gazelor dar nu și transmiterea unei flăcări (aparatele sînt „etanșe la flacără").

CUPRINS

Partea întîi

NOŢIUNI GENERALE PRIVIND APARATELE ELECTRICE

Cap. 1. *Aparate electrice* 4
Cap. 2. *Clasificarea aparatelor electrice* 6
A. Aparate de conectare şi deconectare..... 6
B. Aparate de pornire şi reglare a mersului maşinilor electrice. 6
C. Aparate de protecţie 7
D. Tablouri şi complete de aparate 7
Cap. 3 *Solicitările la care sînt supuse aparatele electrice în timpul exploatării* 8
A. Solicitări electrice 8
B. Solicitări termice 11
C. Solicitări electrodinamice 12
D. Solicitarea prin arcul electric de întrerupere..... 12
E. Uzura mecanică a aparatelor electrice prin funcţionarea îndelungată 12
F. Solicitări datorate mediului în care lucrează aparatele 13
Cap. 4. *Mărimile caracteristice ale unui aparat electric*..... 17
A. Tensuinea nominală 17
B. Curentul nominal 18
C. Capacitatea de rupere nominală 18
D. Curentul limită termic 19
E. Curentul limită dinamic 19
F. Felul curentului 19
G. Serviciul nominal 19
H. Robusteţea mecanică 22

Partea a doua

FENOMENE ELECTROFIZICE CARE DETERMINĂ SOLICITĂRI ALE APARATELOR ELECTRICE

Cap. 5. *Încălzirea aparatelor electrice* 24
A. Încălzirea în regim permanent 24
B. Încălzirea în regim intermitent 30
C. Încălzirea în scurtcircuit 31
D. Alte cauze de încălzire a aparatelor 32
E. Propagarea căldurii 33

Cap. 6. *Forțe electrodinamice* 39
A. Forțe electrodinamice între conductoare electrice 39
B. Forțe electrodinamice între conductoare și pereți din material magnetic 41
C. Efectele forțelor electrodinamice 42
D. Măsuri de protecție împotriva efectului forțelor electrodinamice 42
Cap. 7. *Supracurenți și scurtcircuite* 44
A. Supracurenți 44
B. Supracurenți la pornirea motoarelor electrice asincrone cu rotor în scurtcircuit 46
C. Curenți de scurtcircuit 48
D. Curenți de suprasarcină 51
Cap. 8. *Arcul electric* 53
A. Arcul electric de întrerupere 53
B. Descărcări electrice în gaze. Caracteristica volt-amper a descărcării 54
C. Explicarea conductivității gazelor 56
D. Principiul stingerii arcului electric 60

Partea a treia

ELEMENTE PRINCIPALE FOLOSITE ÎN CONSTRUCȚIA APARATELOR ELECTRICE

Cap. 9. *Contacte electrice* 64
A. Metode de îmbinare a conductoarelor electrice 64
B. Trecerea curentului electric prin suprafețele de contact. Rezistența de contact 65
C. Factorii care influențează mărimea rezistenței de contact 67
D. Tipuri de contacte 69
E. Forma contactelor 70
F. Materiale pentru contacte 74
G. Întreținerea contactelor 82
Cap. 10. *Izolatoare electrice* 87
A. Construcția și principiul de funcționare 87
B. Tipuri constructive 89
C. Tehnologia de fabricație a izolatoarelor ceramice 94
D. Izolatoare de sticlă 101
E. Izolatoare din rășini de turnare 102
F. Întreținerea izolatoarelor 104
Cap. 11. *Termobimetale* 106
A. Construcția și principiul de funcționare 106
B. Tipuri constructive 107
C. Tehnologia de prelucrare 109
D. Calculul termobimetalelor 110
E. Întreținerea și exploatarea termobimetalelor 114

Cap. 12. *Electromagneți* 115
A. Construcția și principiul de funcționare 115
B. Tipuri constructive 116
C. Tehnologia de fabricație 120
D. Întreținerea și exploatarea electromagneților 122
Cap. 13 *Redresoare* 124
A. Construcția și funcționarea redresoarelor cu plăci de seleniu 124
B. Scheme de redresare 126
C. Montarea redresoarelor cu seleniu 127
D. Întreținerea și exploatarea redresoarelor cu seleniu 129
E. Redresoare cu siliciu 129
Cap. 14. *Elemente arcuitoare* 132
A. Materiale folosite pentru elementele arcuitoare 132
B. Resoarte metalice 134
C. Utilizarea corectă a resoartelor 136

Partea a patra

APARATE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Cap. 15. *Metode de stingere a arcului electric la aparatele electrice de joasă tensiune* 142
A. Stingerea arcului în curent continuu 142
B. Stingerea arcului în curent alternativ 145
C. Camere de stingere 147
Cap. 16. *Aparate de conectare manuală* 150
A. Întreruptoare-pîrghie 150
B. Întreruptoare și comutatoare-pachet 153
C. Întreruptoare și comutatoare cu came 156
D. Prize și fișe industriale 158
Cap. 17. *Aparate de comandă manuală a mașinilor electrice rotative* 160
A. Aparate de conectare manuală la rețea a mașinilor electrice 160
B. Comutatoare stea-triunghi manuale 161
C. Autotransformatoare de pornire 164
D. Inversoare de sens de mers manuale 164
E. Comutatoare de număr de poli 164
F. Reostate de pornire și reglaj pentru motoare electrice 166
G. Reostate de excitație pentru generatoare 171
Cap. 18. *Aparate de comandă automată a motoarelor și circuitelor electrice* 173
A. Contactoare și ruptoare 174
B. Contactoare cu relee 181
C. Întreruptoare automate de joasă tensiune 190
D. Întreruptoare stea-triunghi automate, comutatoare și inversoare automate 196
Cap. 19. *Aparate auxiliare pentru acționări industriale și automatizări* .. 200
A. Butoane de comandă 200
B. Chei de comandă 203
C. Lămpi și casete de semnalizare 205
D. Întreruptoare de sfîrșit de cursă (limitatoare de cursă) 205
E. Microîntreruptoare 208

F. Întreruptoare trestie 211
G. Relee intermediare 213
Cap. 20. *Siguranțe fuzibile de joasă tensiune* 214
A. Principiul de funcționare 214
B. Evoluția constructivă a siguranțelor fuzibile. Tipuri de siguranțe fuzibile 215
C. Soluții constructive și domenii de utilizare 220
D. Mărimi nominale 223
E. Exploatarea corectă a siguranțelor fuzibile 225
Cap. 21. *Instalații prefabricate de joasă tensiune pentru distribuția energiei electrice* 228
A. Celule de distribuție de joasă tensiune 229
B. Tablouri de distribuție 230
C. Distribuții industriale 237
D. Pupitre și tablouri de comandă 239
Cap. 22. *Aparate electrice folosite în instalații de uz casnic (aparataj de instalație)* 241
A. Aparate de racord la rețea 241
B. Aparate de conectare 242
C. Aparate de protecție 246
Cap. 23. *Variante constructive corespunzătoare condițiilor de mediu în care lucrează aparatele electrice* 248
A. Factorii de mediu care influiențează funcționarea aparatelor electrice 248
B. Influența funcționării aparatelor asupra mediului exterior 249
C. Protejarea aparatelor față de condițiile mediului 250
D. Tipuri de protecție 251

Partea a cincea

APARATE ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

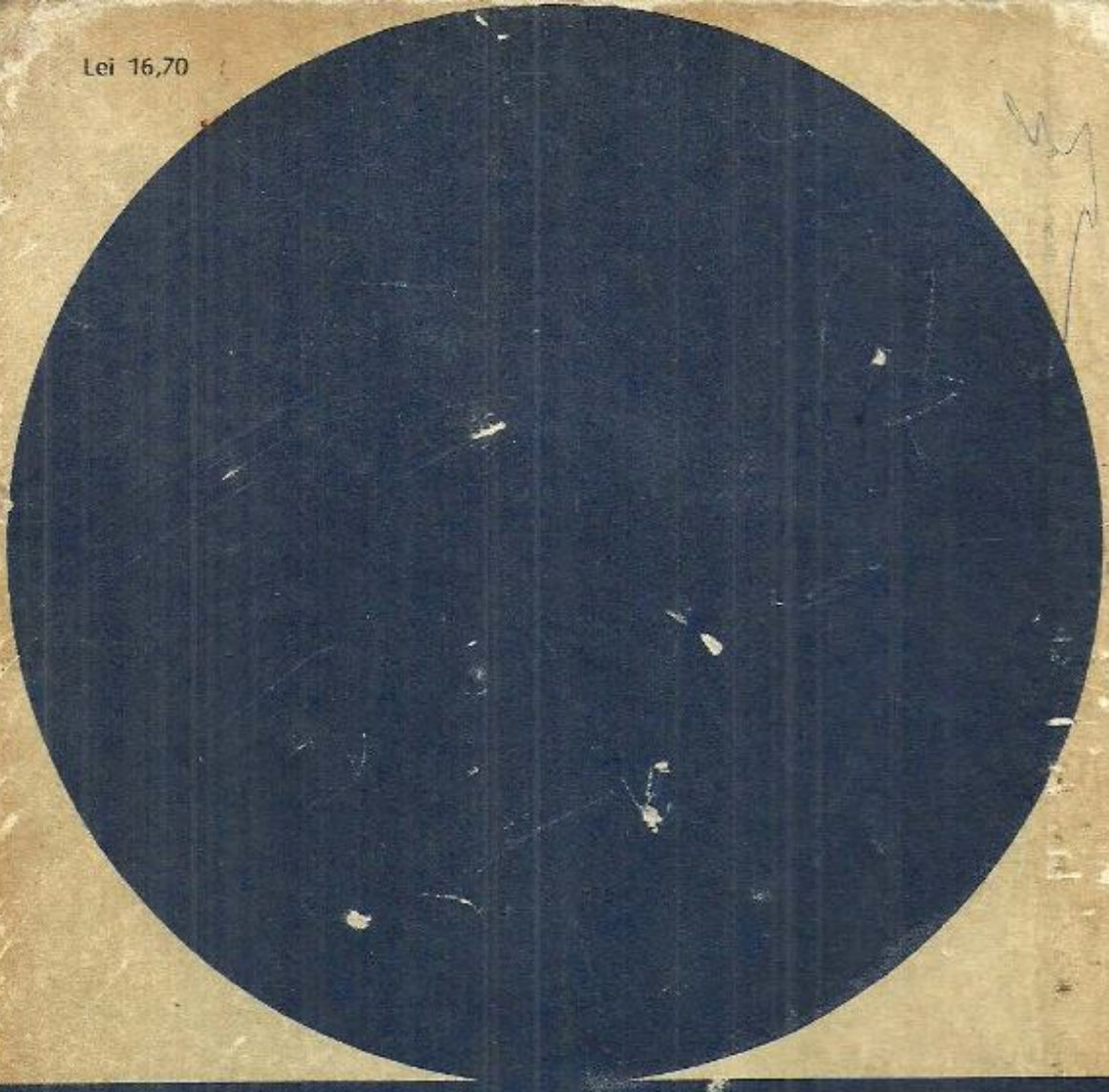
Cap. 24. *Noțiuni introductive* 260
A. Valori nominale de tensiune, standardizate 260
B. Aparate de înaltă tensiune 261
Cap. 25. *Separatoare* 263
A. Rolul separatoarelor 263
B. Soluții constructive 263
C. Elemente componente și tehnologia de fabricație a separatoarelor 269
D. Întreținerea și exploatarea separatoarelor 271
Cap. 26. *Întreruptoare automate de înaltă tensiune* 272
A. Principiul de funcționare și metode de stingere a arcului electric în întreruptoarele automate de înaltă tensiune 273
B. Întreruptoare automate cu ulei mult 274
C. Întreruptoare automate cu ulei puțin 277
D. Întreruptoare cu aer comprimat 289
E. Întreruptoare cu autocompresie 292
F. Întreruptoare cu autoformare de gaz 292
G. Întreruptoare de înaltă tensiune cu rupere în aer liber..... 293
H. Întreruptoare cu rupere în vid înaintat..... 294

I. Întreruptoare (separatoare) de sarcină 295
J. Contactoare de înaltă tensiune 299
K. Întreruptoare cu stingere în hexafluorură de sulf 300
Cap. 27. *Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune* 307
A. Principiul de funcționare 307
B. Soluții constructive 308
Cap. 28. *Aparate de protecție împotriva supratensiunilor* 313
A. Supratensiuni 313
B. Eclatoare 316
C. Descărcătoare 317
Cap. 29. *Transformatoare de măsură* 324
A. Transformatoare de curent 325
B. Transformatoare de tensiune 329
C. Transformatoare combinate 333
Cap. 30. *Bobine de reactanță* 335
Cap. 31. *Celulele de distribuție de medie tensiune* 337
Cap. 32. *Tendințe privind evoluția în următorii ani, ale fabricației aparatajului electric* 340
A. Măsuri privind creșterea economicității și siguranței în funcționare 340
B. Evoluția aparatelor electrice 341
Răspunsuri 343

Plan editură 11 326. Tiraj 12 850 + 65 ex. leg. 1/2. Coli de tipar 22,25. Bun de tipar: 17.05.77 Apărut 1977.

Tiparul executat sub comanda
nr. 1026 la
Intreprinderea Poligrafică
„13 Decembrie 1918"
str. Grigore Alexandrescu nr. 89—97
București,
Republica Socialistă România

Lei 16,70



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ,
BUCUREȘTI — 1977